



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**IDENTIFIKASI KERUSAKAN BELITAN MOTOR INDUKSI  
DENGAN ROTOR TERPASANG MENGGUNAKAN  
METODE EAR (*ERROR AREA RATIO*)**

Mochamad Faisal Firdaus  
NRP 07111440000051

Dosen Pembimbing  
Dimas Anton Asfani S.T., M.T., PhD  
Dedet Candra Riawan S.T., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**IDENTIFIKASI KERUSAKAN BELITAN MOTOR INDUKSI  
DENGAN ROTOR TERPASANG MENGGUNAKAN  
METODE EAR (*ERROR AREA RATIO*)**

Mochamad Faisal Firdaus  
NRP 07111440000051

Dosen Pembimbing  
Dimas Anton Asfani S.T., M.T., PhD  
Dedet Candra Riawan S.T., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**FINAL PROJECT - TE 141599**

**IDENTIFICATION OF INDUCTION MOTOR WINDING  
FAILURE WITH INSTALLED ROTOR USING  
ERROR AREA RATIO (EAR) METHODE**

Mochamad Faisal Firdaus  
NRP 0711144000051

Advisor  
Dimas Anton Asfani S.T., M.T., PhD  
Dedet Candra Riawan S.T., M.Eng., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



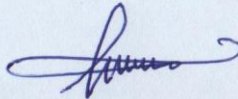
## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul : **“Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi Dengan Rotor Terpasang Menggunakan Metode EAR (*Error Area Ratio*)”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018



Mochamad Faisal Firdaus  
NRP. 07111440000051

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**IDENTIFIKASI KERUSAKAN BELITAN MOTOR  
INDUKSI DENGAN ROTOR TERPASANG  
MENGUNAKAN METODE EAR  
(*ERROR AREA RATIO*)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro**

**Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

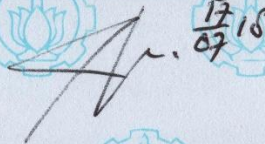
**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**



**Dimas Anton A., S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP. 1981 09 05 2005 01 1002**

**Dosen Pembimbing II**



**Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.**  
**NIP. 1973 11 19 2000 03 1001**



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **IDENTIFIKASI KERUSAKAN BELITAN MOTOR INDUKSI DENGAN ROTOR TERPASANG MENGGUNAKAN METODE EAR (*ERROR AREA RATIO*)**

Nama : Mochamad Faisal Firdaus  
Dosen Pembimbing 1 : Dimas Anton Asfani S.T., M.T., PhD  
Dosen Pembimbing 2 : Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Salah satu kerusakan yang biasa terjadi pada belitan motor induksi adalah kegagalan isolasi stator yang mana kegagalan ini biasanya berupa kegagalan antar belitan (*turn-turn fault*). Kegagalan antar belitan ini dapat terjadi karena banyak faktor seperti panas, Isitrik, dan kelembaban. Kegagalan ini jika dibiarkan dapat mengakibatkan kegagalan antar fasa yang dapat merusak motor. Maka dari itu sangatlah penting untuk mendeteksi kerusakan pada belitan motor induksi sebelum terlambat. Salah satu cara untuk mendeteksinya adalah dengan melakukan tes surja, yaitu dengan mengalirkan pulsa *short current* yang memiliki *rise time* tertentu ke belitan stator motor yang akan diuji. Pengujian ini dilakukan dengan rotor terpasang untuk mengetahui pengaruh rotor terhadap respon dari gelombang surja. Gelombang surja ini nantinya akan dianalisa menggunakan metode *Error Area Ratio* (EAR). Metode ini bekerja dengan membandingkan dua buah gelombang, dalam hal ini gelombang surja motor saat kondisi normal dan saat kondisi *fault*. Dari hasil perbandingan tersebut, kita dapat mengetahui apakah motor tersebut rusak atau tidak.

**Kata Kunci :** Motor induksi, Tes surja, EAR, Rotor terpasang

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **IDENTIFICATION OF INDUCTION MOTOR WINDING FAILURE WITH INSTALLED ROTOR USING ERROR AREA RATIO (EAR) METHODE**

Name : Mochamad Faisal Firdaus  
Advisor 1 : Dimas Anton Asfani S.T., M.T., PhD  
Advisor 2 : Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

## ***ABSTRACT***

One of the most common failure in induction motor winding is the failure of stator isolation which is usually a turn-turn fault. This failure can occur due to many factors such as heat, electrical, and humidity. If this failure is left continuously, it can make the inter-phase failure, which can cause damage to the motor. Therefore, it's important to detect the winding failure of induction motor before it's too late. One of the ways that can be used for it, is a surge test which we do by giving a short current pulse that has a certain rise time to the stator winding of the motor that we tested. The testing will use with rotor installed to know the effect of rotor on surge wave. This wave will be analyzed using Error Area Ratio (EAR) method. This method works by comparing two waves, in this case, its comparing the surge waves of motor between normal and fault condition. From the result of the comparison, we can know whether the motor is damaged or not.

Keywords: Induction motor, Surge test, EAR Method, Rotor installed.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul **“Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi Dengan Rotor Terpasang Menggunakan Metode EAR (Error Area Ratio)”** sebagai syarat untuk kelulusan pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Laporan penelitian ini dapat diselesaikan oleh penulis berkat bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Keluarga, khususnya yang selalu memberi dukungan, semangat, dan doa untuk keberhasilan penulis. Bapak Dimas Anton Asfani, ST., MT., PhD selaku Dosen Pembimbing 1, dan bapak Dedet C. Riawan, ST. M.Eng., Ph D. selaku Dosen Pembimbing 2, yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Dan teman-teman angkatan 2014 atas semangat, bantuan dan kerjasamanya yang telah membantu penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya. Laporan ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun.

Surabaya, 2 Juni 2017

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	2
1.7 Relevansi .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Motor Induksi .....	5
2.2 Kegagalan Isolasi Pada Motor Listrik .....	5
2.3 Tes Surja.....	6
2.4 Pembangkitan Tegangan Tinggi DC .....	9
2.5 Metode EAR ( <i>Error Area Ratio</i> ).....	10
2.5.1 P-P EAR.....	11
2.5.2 L-L EAR .....	12
2.5.3 <i>Test-ref</i> EAR .....	12
2.6 Pengaruh Rotor Terhadap Pengujian .....	12
2.7 Standar Pengujian Tegangan Surja.....	14
2.8 Kriteria Fail/Pass Surge Test.....	14
<b>BAB III PERANCANGAN SISTEM DAN ALAT .....</b>	<b>17</b>
3.1 Perancangan Sistem.....	17
3.2 Perancangan <i>Hardware</i> .....	18
3.2.1 Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi DC .....	18
3.2.2 Perancangan Modul <i>Switching</i> Tes Surja .....	19
3.2.3 Modifikasi Stator Motor Induksi Untuk Tes Surja.....	20
3.2.4 Pemasangan Verivolt dan NI 9223 .....	23
3.3 Perancangan <i>Software</i> .....	23

3.3.1	Perancangan Program Arduino .....	24
3.3.2	Perancangan Program Labview .....	24
<b>BAB IV IDENTIFIKASI KERUSAKAN BELITAN MOTOR</b>		
<b>INDUKSI DENGAN ROTOR TERPASANG</b>		
<b>MENGGUNAKAN METODE EAR.....27</b>		
4.1	Pengujian <i>Rise Time</i> Gelombang.....	27
4.2	Pengujian Tegangan Puncak.....	28
4.3	Pengujian Tes Surja Fasa U.....	28
4.3.1	Pengujian Dalam Keadaan Normal .....	29
4.3.2	Pengujian Dalam Keadaan <i>Turn fault</i> .....	29
4.3.2.1	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 1-3 .....	30
4.3.2.2	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 1-5 .....	31
4.3.2.3	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 1-15 .....	32
4.3.2.4	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 1-40 .....	33
4.3.2.5	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 3-15 .....	34
4.3.2.6	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 3-40 .....	35
4.3.2.7	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 5-15 .....	36
4.3.2.8	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 5-40 .....	37
4.3.2.9	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 15-40 .....	38
4.3.2.10	Pengujian Antara Normal Dengan Referensi.....	39
4.3.3	Analisa EAR Pada Motor Induksi Fasa U .....	40
4.4	Pengujian Tes Surja Fasa V.....	43
4.4.1	Pengujian Dalam Keadaan <i>Turn fault</i> .....	44
4.4.1.1	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 1-3 .....	44
4.4.1.2	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 1-5 .....	45
4.4.1.3	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 1-15 .....	46
4.4.1.4	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 1-40 .....	47
4.4.1.5	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 3-15 .....	48
4.4.1.6	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 3-40 .....	49
4.4.1.7	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 5-15 .....	50
4.4.1.8	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 5-40 .....	51
4.4.1.9	Pengujian Pada <i>Turn fault</i> 15-40 .....	52
4.4.1.10	Pengujian Antara Normal Dengan Referensi.....	53
4.4.2	Analisa EAR Pada Motor Induksi Fasa V .....	54
<b>BAB V PENUTUP.....59</b>		
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA .....61</b>		
<b>LAMPIRAN .....63</b>		

Lampiran 1. List Program Arduino.....	63
<b>RIWAYAT PENULIS.....</b>	<b>65</b>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> (a) rotor sangkar (b) rotor belit .....	5
<b>Gambar 2. 2</b> <i>Hot spot</i> akibat kegagalan antar <i>turn</i> .....	6
<b>Gambar 2. 3</b> Rangkaian ekivalen kapasitor surja dengan belitan motor .....	7
<b>Gambar 2. 4</b> Rangkaian skematik tes surja .....	8
<b>Gambar 2. 5</b> Rangkaian <i>Cochroff-Walton</i> .....	9
<b>Gambar 2. 6</b> Konsep metode EAR .....	11
<b>Gambar 2.7</b> Perbandingan pengujian surja tanpa rotor dan dengan rotor .....	13
<b>Gambar 2. 8</b> Pengujian dengan menggunakan rotor pada posisi sudut yang berbeda .....	13
<b>Gambar 2. 9</b> Standar <i>rise time</i> untuk pengujian tegangan surja .....	14
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram alur tes surja pada motor .....	17
<b>Gambar 3. 2</b> Board rangkaian Kaskade <i>Greinacaher</i> .....	19
<b>Gambar 3. 3</b> Board rangkaian <i>switch</i> tes surja .....	20
<b>Gambar 3. 4</b> Motor induksi dengan <i>External tab</i> .....	21
<b>Gambar 3. 5</b> Skema belitan stator motor hubungan delta .....	22
<b>Gambar 3. 6</b> Skema perputaran rotor .....	22
<b>Gambar 3. 7</b> (a) NI 9223 (b) Verivolt Entube DE-HB .....	23
<b>Gambar 3. 8</b> <i>Display</i> program pada <i>LabView</i> .....	25
<b>Gambar 4. 1</b> <i>Rise time</i> gelombang surja .....	27
<b>Gambar 4. 2</b> Gelombang surja referensi .....	29
<b>Gambar 4. 3</b> Gelombang surja <i>turn fault</i> 1-3 .....	30
<b>Gambar 4. 4</b> Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 1-3 dan Referensi.....	30
<b>Gambar 4. 5</b> Gelombang surja <i>turn fault</i> 1-5 .....	31
<b>Gambar 4. 6</b> Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 1-5 dan Referensi.....	31
<b>Gambar 4. 7</b> Gelombang surja <i>turn fault</i> 1-15 .....	32
<b>Gambar 4. 8</b> Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 1-15 dan Referensi.....	32
<b>Gambar 4. 9</b> Gelombang surja <i>turn fault</i> 1-40 .....	33
<b>Gambar 4. 10</b> Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 1-40 dan Referensi.....	33
<b>Gambar 4. 11</b> Gelombang surja <i>turn fault</i> 3-15.....	34
<b>Gambar 4. 12</b> Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 3-15 dan Referensi.....	34
<b>Gambar 4. 13</b> Gelombang surja <i>turn fault</i> 3-40.....	35
<b>Gambar 4. 14</b> Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 3-40 dan Referensi.....	35
<b>Gambar 4. 15</b> Gelombang surja <i>turn fault</i> 5-15.....	36
<b>Gambar 4. 16</b> Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 5-15 dan Referensi.....	36
<b>Gambar 4. 17</b> Gelombang surja <i>turn fault</i> 5-40.....	37
<b>Gambar 4. 18</b> Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 5-40 dan Referensi.....	37

<b>Gambar 4. 19</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 15-40 .....	38
<b>Gambar 4. 20</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 15-40 dan Referensi .....	38
<b>Gambar 4. 21</b>	Gelombang surja kondisi normal .....	39
<b>Gambar 4. 22</b>	Hasil EAR antara Normal dan Referensi.....	39
<b>Gambar 4. 23</b>	Grafik nilai EAR tiap selisih <i>turn</i> fasa U.....	40
<b>Gambar 4. 24</b>	Hasil analisa EAR tiap selisih <i>turn</i> fasa U (rata-rata)....	42
<b>Gambar 4. 25</b>	Hasil analisa EAR tiap selisih <i>turn</i> fasa U (maksimal)..	43
<b>Gambar 4. 26</b>	Hasil analisa EAR tiap selisih <i>turn</i> fasa U (minimal)....	43
<b>Gambar 4. 27</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 1-3.....	44
<b>Gambar 4. 28</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 1-3 dan Referensi .....	45
<b>Gambar 4. 29</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 1-5.....	45
<b>Gambar 4. 30</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 1-5 dan Referensi .....	46
<b>Gambar 4. 31</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 1-15.....	46
<b>Gambar 4. 32</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 1-15 dan Referensi .....	47
<b>Gambar 4. 33</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 1-40.....	47
<b>Gambar 4. 34</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 1-40 dan Referensi .....	48
<b>Gambar 4. 35</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 3-15.....	48
<b>Gambar 4. 36</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 3-15 dan Referensi .....	49
<b>Gambar 4. 37</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 3-40.....	49
<b>Gambar 4. 38</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 3-40 dan Referensi .....	50
<b>Gambar 4. 39</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 5-15.....	50
<b>Gambar 4. 40</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 5-15 dan Referensi .....	51
<b>Gambar 4. 41</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 5-40.....	51
<b>Gambar 4. 42</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 5-40 dan Referensi .....	52
<b>Gambar 4. 43</b>	Gelombang surja <i>turn fault</i> 15-40.....	52
<b>Gambar 4. 44</b>	Hasil EAR antara <i>Turn fault</i> 15-40 dan Referensi .....	53
<b>Gambar 4. 45</b>	Gelombang surja kondisi normal .....	53
<b>Gambar 4. 46</b>	Hasil EAR antara Normal dengan Referensi .....	54
<b>Gambar 4. 47</b>	Grafik nilai EAR tiap selisih <i>turn</i> fasa V.....	55
<b>Gambar 4. 48</b>	Hasil analisa EAR tiap selisih <i>turn</i> fasa V (rata-rata)....	57
<b>Gambar 4. 49</b>	Hasil analisa EAR tiap selisih <i>turn</i> fasa V (maksimal)..	57
<b>Gambar 4. 50</b>	Hasil analisa EAR tiap selisih <i>turn</i> fasa V (minimal)....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Kriteria fail/pass surge test .....	15
<b>Tabel 3. 1</b> Spesifikasi motor induksi 3 fasa .....	20
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil pengujian tegangan puncak.....	28
<b>Tabel 4. 2</b> Nilai EAR tiap <i>Turn fault</i> fasa U .....	40
<b>Tabel 4. 3</b> Nilai induktansi belitan fasa U tiap 45 derajat .....	41
<b>Tabel 4. 4</b> Nilai induktansi tiap selish <i>turn fault</i> .....	41
<b>Tabel 4. 5</b> Hasil analisa EAR pada tes surja belitan fasa U .....	42
<b>Tabel 4. 6</b> Nilai EAR tiap <i>turn fault</i> fasa V .....	54
<b>Tabel 4. 7</b> Nilai induktansi tiap 45 derajat fasa V .....	55
<b>Tabel 4. 8</b> Nilai induktansi tiap selisih <i>turn fault</i> fasa V .....	56
<b>Tabel 4. 9</b> Hasil analisa EAR pada tes surja belitan fasa V .....	56

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Industri adalah aspek yang vital bagi perkembangan sebuah negara, khususnya industri besar. Berhentinya sebuah proses produksi pada industri tersebut akan sangat berpengaruh pada keberlangsungan industri tersebut dan dapat menyebabkan kerugian yang besar. Salah satu peralatan yang penting dan banyak digunakan dalam industri adalah motor listrik, khususnya motor induksi. Motor induksi sangat penting untuk dijaga kontinuitasnya agar tidak rusak, karena sering terjadi kasus kerusakan pada motor induksi. Kerusakan motor induksi ini disebabkan oleh banyak faktor baik dalam sisi elektrisnya maupun dalam mekanisnya.

Salah satu kerusakan yang biasa terjadi pada belitan motor induksi adalah kegagalan isolasi stator yang mana kegagalan biasanya berupa kegagalan antar belitan (*turn-turn fault*). Kegagalan *turn fault* tersebut akan menghasilkan panas pada belitan tersebut dan terjadi pemanasan lokal yang jika dibiarkan dapat menyebar pada belitan yang lain sehingga terjadi kegagalan belitan antar fasa, dan jika dibiarkan lebih lanjut akan mengakibatkan terbakarnya belitan motor, dan motor akan rusak. Maka dari itu penting untuk mendeteksi kerusakan pada belitan motor sebelum menjadi parah, salah satunya adalah dengan melakukan tes surja. Tes surja yang biasanya dilakukan adalah dengan tidak menggunakan rotor, namun penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rotor akan berpengaruh pada hasil tes surja[1]. sehingga pada Tugas Akhir kali ini akan dilakukan deteksi motor induksi dengan rotor terpasang dan dianalisis menggunakan metode EAR.

### **1.2 Permasalahan**

Tes surja merupakan salah satu cara untuk mendeteksi kerusakan pada belitan motor induksi. Pada pengujian tes surja dengan rotor terpasang, hasil dari tes ini adalah sebuah respon gelombang yang dinamakan gelombang surja. Gelombang ini nantinya akan dianalisis menggunakan metode EAR dan akan didapatkan hasil apakah belitan motor tersebut rusak atau tidak.

### **1.3 Batasan Masalah**

Pada Tugas Akhir kali ini akan dilakukan pengujian tes surja motor induksi dengan rotor terpasang dengan variasi sudut rotor dari 0 sampai 360 derajat dengan besar *turn-turn fault* yang bervariasi dari 1,3,5,15, dan 40. Pengujian ini dilakukan untuk melihat kerusakan antar *turn* dan dilakukan pada kedua fasa yaitu fasa U dan V. Pengujian dilakukan dengan membandingkan antara motor induksi dengan kondisi normal dan dalam kondisi mengalami *fault*. Hasil pengujian diatas akan dianalisa dengan metode EAR.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk mengidentifikasi kerusakan antar belitan pada belitan motor induksi dengan melakukan tes surja dengan rotor terpasang dan dianalisis menggunakan metode EAR.

### **1.5 Metodologi**

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, diantaranya studi literatur, pemodelan rangkaian uji, pengujian alat, analisa data, dan pembuatan buku laporan. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan teori penunjang dari buku dan jurnal. Pemodelan rangkaian dilakukan dengan menghubungkan alat pembangkit tegangan surja yang dihubungkan pada belitan motor. Pengujian dilakukan dengan meberikan tegangan pada modul pembangkit tegangan surja dan akan dihasilkan respon pada belitan motor berupa gelombang surja yang nanti akan dianalisis dengan EAR.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan penelitian ini dapat dijelaskan dengan sistematika sebagai berikut:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini membahas tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi dari penelitian yang dilakukan.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini dijelaskan teori-teori yang menunjang dalam penelitian ini seperti motor induksi, kerusakan belitan, tes surja, rangkaian pembangkit tegangan, metode EAR dan lain sebagainya.

### **BAB 3 PERANCANGAN SISTEM**

Pada bab ini dijelaskan mengenai alat-alat yang dibutuhkan, pemodelan rangkaian sistem, dan cara pengambilan data.

### **BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Bab ini membahas tentang hasil pengujian yang akan dianalisis dengan menggunakan metode EAR untuk mengetahui kondisi motor.

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab 5 membahas tentang kesimpulan berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan. Serta saran-saran untuk penelitian berikutnya.

## **1.7 Relevansi**

Dengan adanya penelitian ini diharapkan akan dapat membantu untuk mendeteksi apakah terjadi kerusakan atau tidak pada motor induksi. Sehingga jika terindikasi mengalami kerusakan, maka dapat dilakukan langkah antisipasi sebelum kerusakan meluas.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

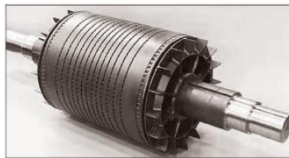
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Motor Induksi

Motor induksi adalah motor yang paling banyak digunakan pada peralatan di industri. Prinsip kerjanya yaitu motor induksi akan bergerak ketika pada bagian stator dialiri dengan arus listrik 3 fasa yang akan membangkitkan medan magnet di sekitar kumparan dan akan memotong konduktor pada rotor sehingga rotor akan teraliri arus. Sesuai dengan hukum *lorentz* maka timbullah gaya yang akan memutar rotor. Berdasarkan fasanya, motor induksi terdiri dari motor induksi 1 fasa dan 3 fasa. Sedangkan dari jenis rotornya, motor induksi dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu rotor sangkar dan rotor belit[2].

Rotor jenis sangkar terdiri dari serangkaian bar konduktor yang dimasukkan dalam sebuah slot yang dishort pada ujungnya sehingga menyerupai sangkar tupai, rotor jenis ini paling banyak digunakan karena konstruksinya yang mudah. Sedangkan rotor jenis belit (*wound*) memiliki kutub yang sama dengan jumlah fasa pada stator. Pada rotor, belitan biasanya dihubung *star*, terkadang juga digunakan hubungan delta. Belitan-belitan tersebut dihubungkan ke cincin slip (*slip ring*) yang terisolasi dari poros rotor untuk menghindari hubung singkat.



(a)

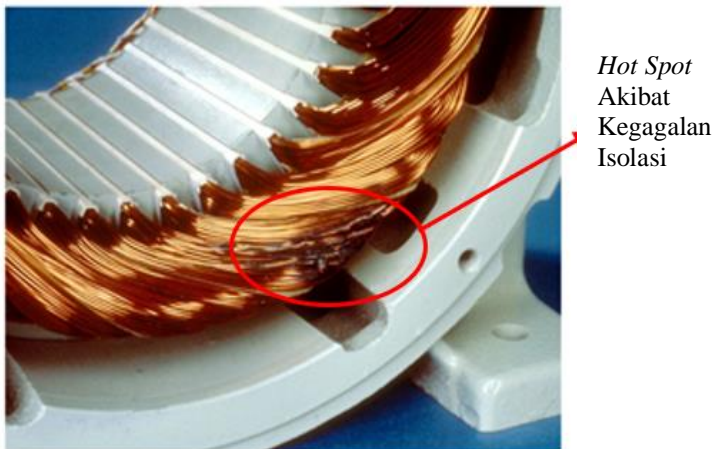


(b)

#### 2.2 Kegagalan Isolasi Pada Motor Listrik

Kegagalan pada isolasi merupakan salah satu dari kegagalan yang paling umum pada motor dan dapat menyebar dengan cepat sehingga menyebabkan kinerja mesin mengalami anomali dan memiliki efek yang berbahaya pada struktur mesin. Kegagalan ini biasanya bermula dari degradasi bahan isolasi diantara dua *turn* yang

berdekatan pada sebuah belitan. Isolator ini terdegradasi atau rusak karena material kontaminasi, arus listrik yang berlebihan, beban mekanis, termal, atau kondisi lingkungan yang lainnya. Kerusakan ini menyebar dan berjalan mencari kekuatan dari material yang terlemah. Jika hal ini tidak terdeteksi, lama kelamaan kegagalan isolasi ini akan dapat menyebabkan kegagalan antar fasa atau fasa ke netral sehingga dapat menyebabkan *short circuit* (korsleting)[3]. Kegagalan antar belitan ini dapat dilihat dengan munculnya *hot spot* pada belitan motor yang ditandai dengan belitan berwarna kehitaman. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2



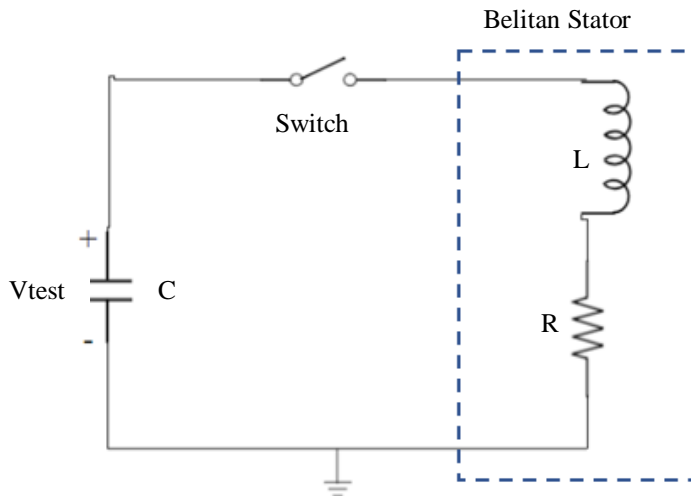
**Gambar 2. 2** *Hot spot* akibat kegagalan antar turn [4].

### 2.3 Tes Surja

Tes surja adalah salah satu pengujian yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi isolasi antar belitan. Tes ini dilakukan dalam kondisi *offline* yaitu saat kondisi motor tidak beroperasi, namun saat ini tes surja juga bisa dilakukan dalam kondisi *online*[5]. Cara menjalankan tes surja adalah dengan mengalirkan pulsa *short current* yang memiliki *rise time* tertentu ke belitan stator motor yang akan diuji. Menurut hukum *Lenz*, ada tegangan yang terinduksi antara belitan yang berdekatan. Jika tegangan itu melebihi tegangan maksimum kekuatan isolasi, akan ada *arching* yang muncul dan nilai

induktansi belitan akan berubah sejenak. Proses ini akan menghasilkan impuls pada motor dan dapat disebut sebagai gelombang surja[5].

Pada prosesnya, sebuah kapasitor yang disebut kapasitor surja akan diberikan tegangan dengan level tertentu lalu kemudian disalurkan pada belitan motor dan diatur dengan saklar, hubungan antara kapasitor surja dan motor akan membentuk rangkaian RLC. Hubungan RLC antara kapasitor surja dan motor dapat dilihat pada rangkaian ekivalen di bawah ini :



**Gambar 2. 3** Rangkaian ekivalen kapasitor surja dengan belitan motor

Karena terdapat komponen L (induktansi motor) dan C (kapasitor surja) maka gelombang surja akan mengalami osilasi yang teredam dengan frekuensi osilasi sesuai dengan persamaan berikut:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}\right)} \quad (2.1)$$

Dikarenakan nilai  $\frac{R^2}{4L^2}$  jauh lebih kecil dari  $\frac{1}{LC}$  maka persamaan dapat ditulis kembali menjadi:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (2.2)$$

Dengan keterangan:

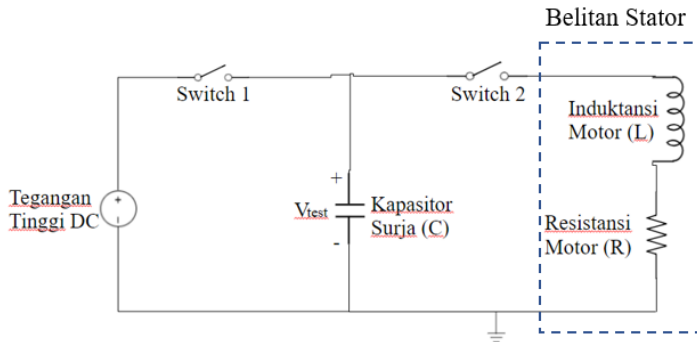
$f$  : frekuensi osilasi

$L$  : Induktansi belitan motor

$C$  : Kapasitansi kapasitor surja

Berdasarkan persamaan diatas, jika ada belitan yang mengalami kegagalan, maka nilai induktansinya akan berkurang. Sehingga frekuensi osilasinya akan bertambah dan akan menyebabkan perbedaan dengan frekuensi saat kondisi normal. Perbedaan itulah yang akan dianalisa dengan metode EAR

Modul pengujian tes surja ini terdiri dari rangkaian pembangkit tegangan, dua buah saklar, dan sebuah kapasitor surja yang nanti akan dihubungkan dengan belitan motor. Skematik gambarnya dapat dilihat pada Gambar 2.4:



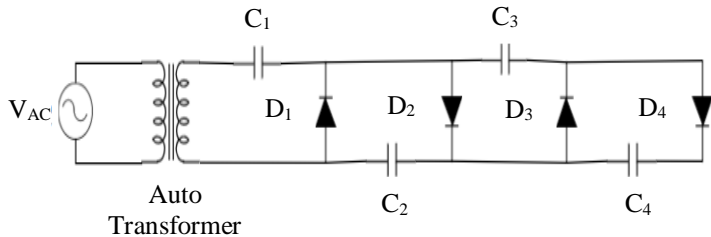
**Gambar 2. 4** Rangkaian skematik tes surja

Secara keseluruhan, proses kerjanya adalah sebagai berikut. Langkah pertama adalah mengatur tegangan tinggi DC sesuai dengan besar tegangan yang diinginkan dan yang diizinkan. Setelah sumber sudah terisi tegangan, maka *switch* 1 akan menutup, sehingga kapasitor surja akan termuati tegangan. Setelah kapasitor termuati tegangan sampai nilainya sama dengan tegangan sumber, maka *switch* 1 akan membuka dan *switch* 2 akan menutup sehingga muatan pada kapasitor surja akan mengalir ke belitan motor induksi.



## 2.4 Pembangkitan Tegangan Tinggi DC

Pembangkitan tegangan tinggi DC kebanyakan menggunakan rangkaian kaskade *greinaca* (*cochroff - walton*). Hal ini dikarenakan rangkaian ini mampu membangkitkan tegangan tinggi DC dari sumber AC yang relatif kecil. Rangkaian ini terdiri dari susunan kapasitor dan dioda yang bertingkat[6].



**Gambar 2. 5** Rangkaian *Cochroff-Walton*

Cara kerja rangkaian ini adalah mula-mula arus dari tegangan positif sumber (+Vac) akan mengisi kapasitor C1 namun arus tersebut tidak dapat mengisi kapasitor C2 karena terhalang oleh dioda D1. Kemudian saat arus fasa negatif (-Vac), kapasitor C2 akan terisi, namun kapasitor C1 tidak terisi karena terhalang dioda D2. Sehingga total tegangan adalah gabungan dari tegangan pada kapasitor C1 dan C2 atau sebesar 2Vac. Demikian pula hal ini berlanjut untuk kapasitor C3 dan C4 dan tingkat-tingkat berikutnya. Sehingga hasilnya dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$V_{out} = 2 \times N \times V_{peak\ input} \quad (2.3)$$

Dengan keterangan:

$V_{out}$  = Tegangan output rangkaian *Cochroff-Walton*

N = Jumlah tingkat rangkaian

$V_{peak}$  = Tegangan puncak *input*

Perlu diperhatikan juga pada masalah pemilihan kapasitor. Kapasitor yang digunakan kapasitor *bipolar*. Selain itu untuk rating kapasitor yang digunakan harus disesuaikan dengan nilai tegangan yang akan dibangkitkan dan kapasitor tersebut juga harus mampu menahan tegangan tinggi DC yang dibangkitkan. Hal ini juga berlaku

untuk pemilihan dioda. Tegangan *blocking* dioda harus melebihi tegangan DC yang akan dibangkitkan.

Untuk nilai kapasitornya sendiri digunakan kapasitor dengan rating tegangan 2KV. Sedangkan untuk diodanya mempunyai tegangan blok maksimum sebesar 4KV untuk mengantisipasi besar tegangan uji yang digunakan.

## 2.5 Metode EAR (*Error Area Ratio*)

Metode EAR (*Error Area Ratio*) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa hasil dari tes surja. Metode ini terbilang sangat efektif dalam menganalisis gelombang surja karena sensitivitasnya yang sangat tinggi dalam membandingkan gelombang surja. Prinsip perhitungannya sederhana yaitu dengan membandingkan dua buah gelombang antara gelombang pengujian dan gelombang referensi dan kemudian dicari nilai EAR nya. Persamaan untuk mendapatkan nilai EAR dapat dilihat pada persamaan berikut:

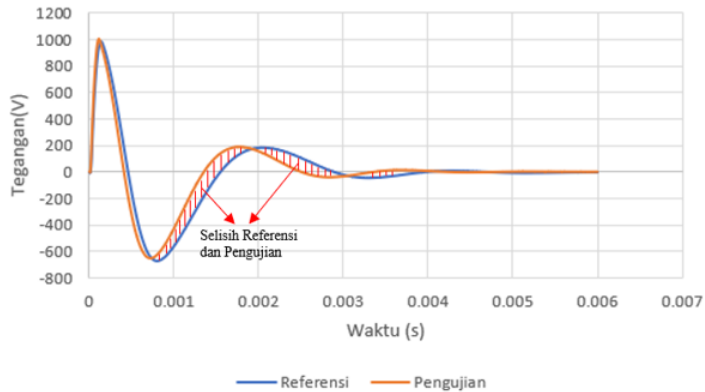
$$EAR = \frac{\sum_{i=1}^N |F_i^{(1)} - F_j^{(2)}|}{\sum_{j=1}^N |F_j^{(1)}|} \times 100 \quad (2.4)$$

Keterangan:

$F_i^{(1)}$  : poin ke-i pada gelombang referensi

$F_i^{(2)}$  : poin ke-i pada gelombang pengujian

Pertama akan dicari selisih dari kedua gelombang yang akan diuji dalam setiap poinnya, kemudian selisih tersebut akan dijumlahkan semua, hasil dari penjumlahan selisih itu kemudian akan dibandingkan dengan jumlah nilai dari semua poin pada gelombang referensi. Hasil perbandingan tersebut akan menjadi nilai EAR. Untuk lebih jelasnya perhitungan EAR dapat dilihat pada Gambar 2.6



**Gambar 2. 6** Konsep metode EAR

Dalam Tugas Akhir ini, gelombang referensi adalah gelombang surja saat dalam motor dalam kondisi normal, sedangkan gelombang pengujian adalah saat gelombang surja saat motor dalam keadaan *fault*. EAR sendiri dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu : P-P EAR, L-L EAR dan *Test-ref* EAR[7]. Pada Tugas Akhir ini jenis EAR yang digunakan adalah *Test-ref* EAR.

### 2.5.1 P-P EAR

P-P EAR (Pulse-Pulse EAR) adalah sebuah metode real-time untuk menganalisis gelombang surja. Metode ini dioperasikan ketika tes surja dijalankan. Sebagai contoh untuk mencapai tegangan tes 2000 V dengan step voltage 25 V maka akan didapat 80 step (tahap) dari 0 V hingga 2000 V. Yaitu 0 V, 25 V, 50 V, 75 V, dan seterusnya hingga 2000 V. Lalu perbedaan antar gelombang yang berhasil, seperti contoh 1950 V dan 1975 V maka itulah P-P EAR. Metode ini tidak memiliki keterbatasan seperti metode L-L EAR yaitu tidak dipengaruhi oleh efek posisi rotor, kondisi rotor, konfigurasi belitan, koneksi motor, kondisi logam (*iron*), dan saturasi. Metode ini merupakan metode paling moderen untuk menguji integritas isolasi antar belitan dengan menggunakan tes surja. Metode ini bisa digunakan untuk pengujian dengan tegangan 1 kV hingga 30 kV.

### **2.5.2 L-L EAR**

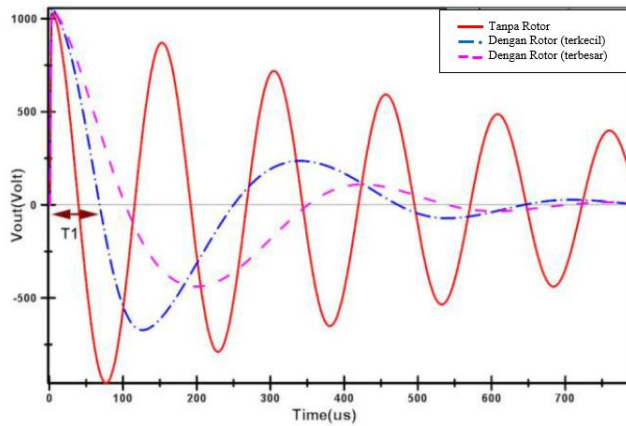
L-L EAR (Line-Line EAR) merupakan metode untuk menganalisis perbedaan gelombang dari 2 fasa motor. Jika ada bentuk gelombang yang tidak sama, maka akan dianalisis seberapa jauh perbedaannya. Dan apa bila telah melebihi batas standar L-L EAR maka dapat disimpulkan terdapat hubung singkat antar belitan atau antar fasanya. Metode L-L EAR bekerja dengan baik saat rotor tidak dipasang pada motor karena setiap lilitan akan identik. Metode ini cocok untuk pengujian dengan tegangan uji 500 V hingga 30 kV. Terdapat beberapa kondisi yang mempengaruhi nilai dari hasil tes dengan metode ini yaitu: posisi rotor, konfigurasi belitan, kondisi rotor, koneksi motor, kondisi laminasi besi (*iron condition*) dan *iron saturation*.

### **2.5.3 Test-ref EAR**

*Test-Ref* EAR digunakan pada saat pengujian dengan banyak objek. Artinya, motor yang diuji berjumlah banyak dan memiliki spesifikasi yang sama. Pengujian ini mengandalkan sebuah referensi yang akan dibandingkan dengan hasil pengujian motor lainnya. Jika melebihi batas tertentu, maka dapat dikatakan motor tersebut mengalami kegagalan isolasi.

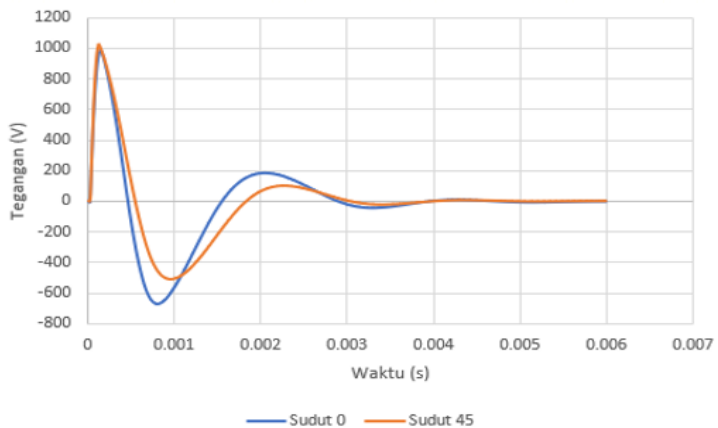
## **2.6 Pengaruh Rotor Terhadap Pengujian**

Dalam melakukan tes surja, pengaruh pemasangan rotor pada saat pengujian akan mempengaruhi hasil dari gelombang yang akan dihasilkan dibandingkan jika tidak menggunakan rotor, bahkan perbedaan bisa mencapai nilai 70% [1], yang mana tentunya akan mempengaruhi hasil dari nilai EAR. Berikut ini akan dibandingkan bentuk gelombang antara pengujian dengan menggunakan rotor dan tidak menggunakan rotor seperti yang terlihat pada Gambar 2.7



**Gambar 2. 7** Perbandingan pengujian surja tanpa rotor dan dengan rotor[1]

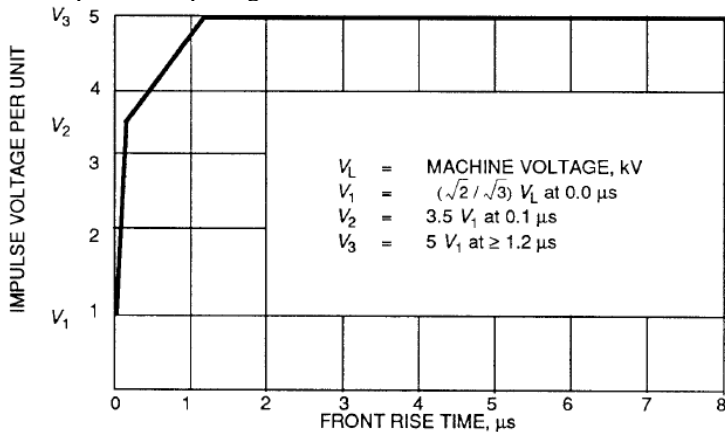
Hal ini dikarenakan pada saat menggunakan rotor, nilai induktansi akan berbeda-beda tergantung dari posisi sudutnya. Berikut ini akan ditunjukkan perbedaan bentuk gelombang antara dua sudut yang berbeda pada gambar 2.8



**Gambar 2. 8** Pengujian dengan menggunakan rotor pada posisi sudut yang berbeda

## 2.7 Standar Pengujian Tegangan Surja

Dalam menentukan besarnya tegangan surja, kita perlu memperhatikan besarnya *rise time* gelombang yang terbentuk pada belitan motor. Besar tegangan surja yang tidak tepat akan mengakibatkan frekuensi yang cukup tinggi saat tengersannya melalui belitan. Oleh karena itu, kita perlu menghitung *rise time* gelombang dengan menginjeksikan tegangan pada belitan motor yang menurut standar dari baker adalah diatas 500V[8]. *Rise time* itu sendiri diasumsikan sebgai waktu yang diperlukan untuk dari 0.1 sampai 0.9 dari nilai puncak tegangan surja[9]. Adapun ketentuan perhitungan dalam menentukan tegangan surja yang digunakan berdasarkan *rise time* dapat dilihat pada gambar 2.9



**Gambar 2. 9** Standar *rise time* untuk pengujian tegangan surja[9]

## 2.8 Kriteria Fail/Pass Surge Test

Dalam menentukan keputusan apakah motor yang diuji mengalami kerusakan atau tidak, tentu harus ada standar yang digunakan. Maka dari itu Baker mengeluarkan standar untuk kriteria *fail/pass* dalam tes surja. Kriteria tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2. 1** Kriteria *fail/pass* surge test[7]

	<i>L-L EAR %</i>	<i>P-P EAR %</i>	<i>Zero-Crossing %</i>	<i>Test ref %</i>
<i>Field, Lap Winding</i>	10-30 % <i>or off</i>	5-15%	10-50% <i>or Off</i>	<i>Manufacturing</i>
<i>Field Concentric</i>	35-65% <i>or off</i>	5-15%	10-50% <i>or Off</i>	<i>Manufacturing</i>
<i>Manufacturing</i>	5-15% - <i>No rotor Installed</i>	5-15%	5-20%	5-15%
<i>Rotor Installed</i>	15-65%	5-15%	10-25% <i>or Higher</i>	10-25% <i>or higher</i>

Dari tabel kriteria diatas, maka disini akan digunakan kriteria di bagian *Rotor Installed* dan menggunakan *Test-ref%* yaitu dengan batas nilai EAR sekitar 10-25%. Pada Tugas Akhir ini akan digunakan batas nilai EAR sebesar 15%.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

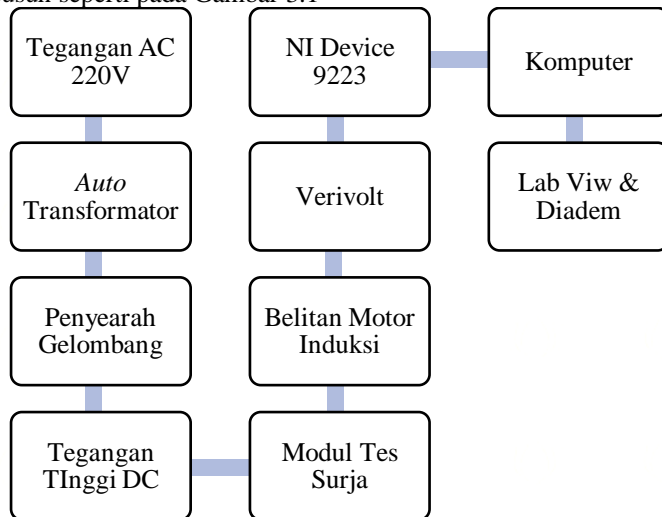


## BAB III

### PERANCANGAN SISTEM DAN ALAT

#### 3.1 Perancangan Sistem

Pada penelitian untuk mengidentifikasi kerusakan belitan motor induksi dengan rotor terpasang menggunakan metode EAR ini hal pertama yang harus dilakukan adalah merancang sebuah sistem untuk dapat dilakukan dengan pengujian, peralatan yang dibutuhkan diantaranya adalah modul tes surja, motor induksi, verivolt dan NI, serta komputer. Konfigurasi dari peralatan-peralatan tersebut dapat disusun seperti pada Gambar 3.1



**Gambar 3. 1** Diagram alur tes surja pada motor

Hal yang pertama kali dilakukan adalah dengan membangkitkan tegangan tinggi DC yang mana tegangan tersebut dihasilkan dengan cara memberikan tegangan AC 220V pada *Autotrafo* dan diatur skalanya hingga mencapai besar tegangan yang diinginkan. Setelah itu pada modul surja, diatur supaya tegangan tersebut mengisi ke kapasitor surja, setelah kapasitor surja terisi, maka tegangan tersebut akan dialirkan pada belitan motor induksi sehingga pada motor induksi muncul gelombang surja. Agar dapat terbaca oleh komputer, maka motor Induksi dihubungkan dengan verivolt untuk menurunkan

tegangan dengan rasio 2000 : 10 sehingga dapat terbaca oleh alat akuisisi NI 9223. Hasil yang didapat NI akan dikirim ke komputer dan dilihat gelombang surjanya melalui *software* LabView dan diolah datanya dengan menggunakan *software* DIADEM.

## 3.2 Perancangan *Hardware*

Pada penelitian ini terdapat beberapa perancangan *hardware* yaitu desain dan perancangan pembangkit tegangan tinggi DC, desain kontrol dan rangkaian *switch* tegangan tinggi, desain rangkaian kapasitor tes surja, motor induksi dengan *external tabs* untuk simulasi *turn fault*.

### 3.2.1 Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi DC

Perancangan pembangkitan tegangan tinggi DC ini menggunakan peralatan berupa sumber tegangan AC, *Autotransformator*, dan rangkaian kaskade *greinacaher* (*cochroff-walton*). Tujuannya adalah untuk membangkitkan tegangan tinggi DC yang nanti akan disalurkan pada kapasitor surja. Besar tegangan yang dihasilkan akan bervariasi, tergantung dari penyekalaan pada *Autotransformator* dan juga tingkatan dari rangkaian kaskade. Sesuai dengan teori, besarnya tegangan yang dapat dihasilkan oleh rangkaian kaskade *greinacaher* adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = 2 \times N \times V_{peak input} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$V_{out}$  = Tegangan output rangkaian *Cochroff-Walton*

$N$  = Jumlah tingkat rangkaian

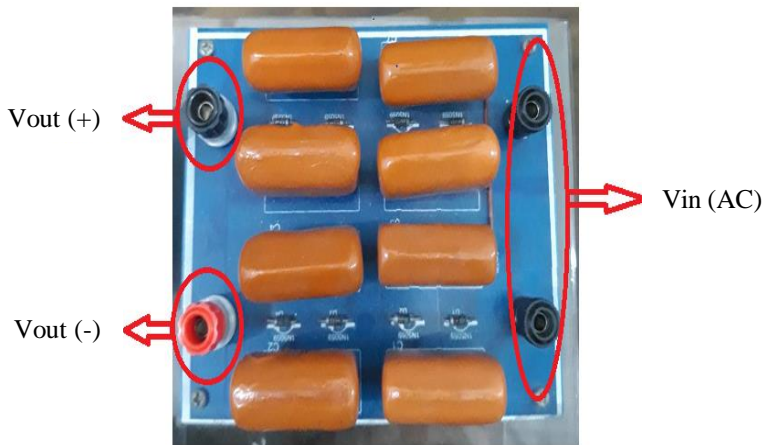
$V_{peak}$  = Tegangan puncak *input*

Pada penelitian ini digunakan rangkaian kaskade *greinacaher* sebanyak 4 tingkat, dengan 2 buah kapasitor berkapasitas mulai dari 100nF hingga 10nF dan 2 buah dioda bertegangan blok maksimum 4KV pada tiap tingkatnya yang akan ditunjukkan pada gambar 3.2. Nilai kapasitansi tersebut dapat dihitung dari persamaan 2.2 dimana diinginkan waktu osilasi sebesar 147 $\mu$ s. Maka dari itu besarnya frekuensi gelombang surja adalah 6821,83Hz. Dengan nilai induktansi belitan motor adalah sebesar 82,81mH maka besarnya C dapat dihitung dan didapatkan hasil 6,6nF. Namun berhubung alat yang sudah didesain tidak dapat bekerja, maka digunakanlah modul

pembangkit surja yang sebelumnya dimana kapasitornya mempunyai kapasitansi beragam.

Sehingga secara teori perhitungan jika semua komponen ideal, dan digunakan sumber AC 220V, maka total tegangan yang dapat dibangkitkan adalah

$$V_{out} = 2 \times 4 \times 220\sqrt{2}$$
$$V_{out} = 2489 \text{ Volt}$$

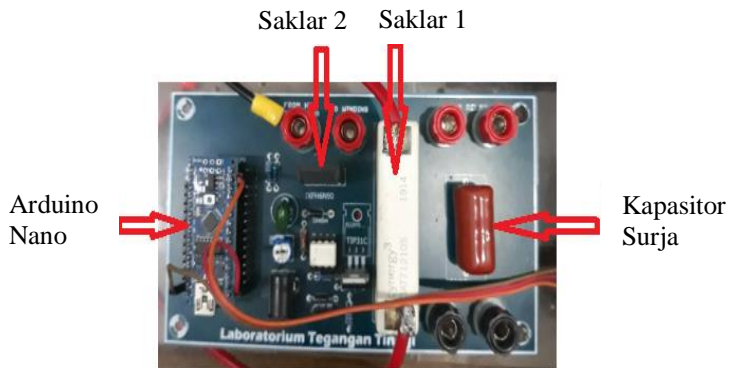


**Gambar 3. 2** Board rangkaian Kaskade *Greinaca*her

### 3.2.2 Perancangan Modul *Switching* Tes Surja

Perancangan ini bertujuan untuk membuat alat uji berupa modul tes surja. Modul tes surja yang digunakan terdiri dari 4 bagian utama yaitu saklar 1, kapasitor surja, saklar 2 dan arduino nano. Saklar 1 berfungsi untuk meneruskan tegangan tinggi DC ke. Saklar 1 yang digunakan pada modul tes surja ini adalah *relay cynergy* DAT71210S. Sedangkan saklar 2 berfungsi sebagai pembuang muatan tegangan DC dari kapasitor surja menuju belitan stator motor induksi. Saklar 2 pada modul tes surja ini menggunakan *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) seri IRG4PH5U dengan kapasitas saturasi tegangan yang mampu dilewatkan adalah sebesar 1200V. Pemilihan IGBT disini adalah untuk mencegah adanya *spike* pada gelombang surja.

Kapasitor surja berfungsi untuk menahan sementara tegangan DC. Kapasitor surja yang digunakan pada modul tes surja ini adalah kapasitor non-polar jenis *mylard* dengan kapasitansi sebesar 12nF, nilai ini juga berasal dari perhitungan persamaan 2.2. namun dilapangan hanya didapatkan nilai kapasitor dengan nilai 12nF yang mempunyai kapasitas maksimum muatan tegangan tesimpan sampai dengan 2000V. Sedangkan Arduino berfungsi sebagai pengatur pada penyalan saklar 1 dan saklar 2 sesuai dengan program yang diinput. Gambar 3.3 menunjukkan board dari modul *switch* tes surja



**Gambar 3. 3** Board rangkaian *switch* tes surja

### 3.2.3 Modifikasi Stator Motor Induksi Untuk Tes Surja

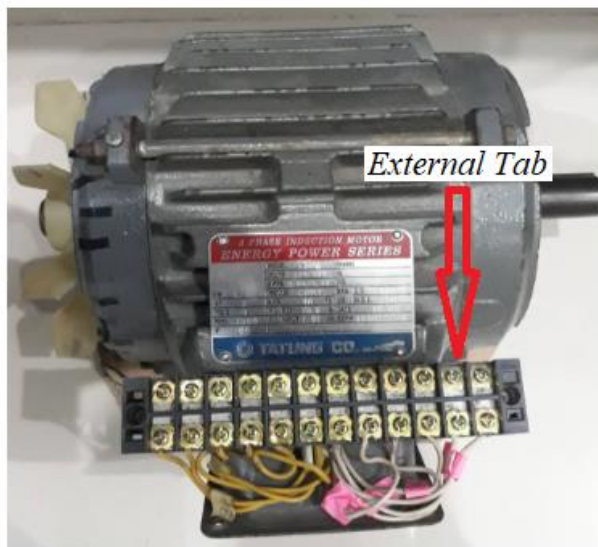
Perancangan ini bertujuan untuk mengatur konfigurasi motor yang akan diuji beserta dengan data dan spesifikasi motor. Motor yang akan digunakan pada penelitian ini adalah motor induksi 3 fasa dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3. 1** Spesifikasi motor induksi 3 fasa

$P_{rating}$	2 HP
Poles	4
$V_{rated}$	220/380V
$I_{rated}$	3.6/2.1A
RPM	1380

Pengujian ini dilakukan dalam keadaan rotor terpasang supaya hasilnya akan lebih aktual seperti di lapangan. Kemudian konfigurasi belitan yang digunakan adalah delta dan dilakukan pengujian pada kedua fasa pada motor induksi yaitu fasa U dan V.

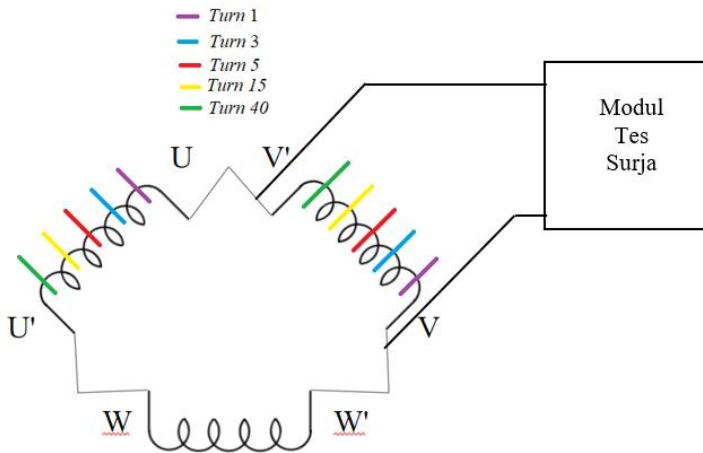
Jenis kerusakan yang akan diuji pada penelitian kali ini adalah jenis kerusakan *turn-turn* atau kerusakan antar belitan, karena kerusakan ini merupakan kerusakan yang sering terjadi dan awal mula dari kerusakan antar fasa. Untuk mensimulasikan kerusakan tersebut digunakanlah *external tab* yang dipasang pada bagian belakang motor dan dihubungkan pada fasa U dan fasa V. pada *external tab* dihubungkan juga beberapa belitan dari setiap fasa. Belitan yang digunakan adalah *turn* 1,3,5,15, dan 40. motor induksi yang telah dihubungkan dengan *external tab* ini dapat dilihat pada Gambar 3.4



**Gambar 3. 4** Motor induksi dengan *External tab*

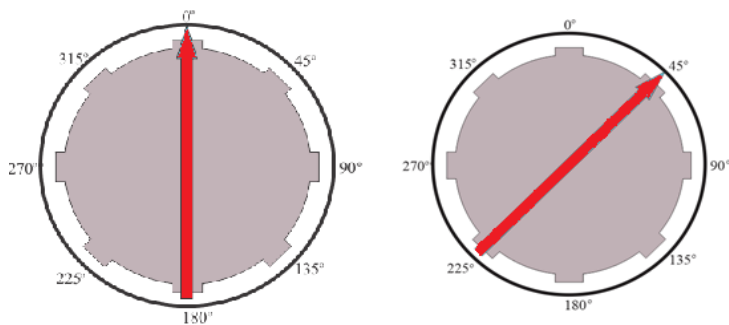
Sedangkan dalam pengujian ini kombinasi dari *turn-turn fault* yang digunakan mengikuti kenaikan dari selisih *turn*, jadi *turn* yang digunakan adalah *turn fault* 1-3, *turn fault* 1-5, *turn fault* 1-15, *turn*

*fault 1-40, turn fault 3-15, turn fault 3-40, turn fault 5-15, turn fault 5-40 dan turn fault 15-40. Berikut adalah skema antar turn dalam hubungan delta.*



**Gambar 3. 5** Skema belitan stator motor hubungan delta

Karena dilakukan dengan rotor terpasang, maka akan dilakukan perubahan sudut rotor dalam setiap pengujian mulai dari sudut  $0^\circ$  hingga sudut  $360^\circ$  dengan rentang pengujian setiap kelipatan  $45^\circ$ . skema perputaran sudutnya dpat dilihat pada Gambar 3.6

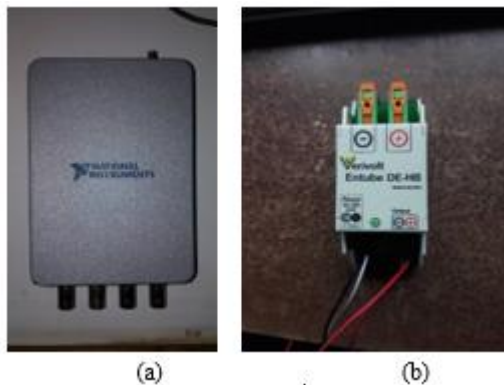


**Gambar 3. 6** Skema perputaran rotor

### 3.2.4 Pemasangan Verivolt dan NI 9223

Verivolt, dalam pengujian ini adalah Verivolt Entube DE-HB adalah sebuah perangkat yang berfungsi sebagai sensor tegangan yang memungkinkan untuk mengukur dan membaca sinyal tegangan tinggi dengan perbandingan tegangan masukan dan tegangan keluaran sebesar 2000 : 10. Verivolt ini akan dipasang secara paralel dengan belitan motor induksi, sedangkan sisi outputnya akan dipasang dengan *probe* yang akan dihubungkan ke NI 9223 sehingga NI dapat membaca keluaran tegangan dari motor.

NI 9223 adalah sebuah produk dari *National Instrument* yang berfungsi untuk mengubah sinyal dari analog menjadi digital (ADC). Dalam pengujian ini kita menghubungkan NI dengan komputer agar hasil pembacaan NI dapat dilihat dan diolah pada komputer. Perangkat ini mempunyai tegangan input sekitar  $\pm 10$  Volt, sehingga untuk membaca tegangan surja yang tinggi diperlukan perangkat tambahan berupa verivolt. Data verivolt yang disalurkan ke NI akan diubah menjadi data digital, kemudian NI akan mengirim data ke komputer sehingga data dapat diolah dengan menggunakan *software*. Berikut adalah gambar NI 9223 dan verivolt.



**Gambar 3. 7** (a) NI 9223 (b) Verivolt Entube DE-HB

### 3.3 Perancangan *Software*

Perancangan *software* berguna untuk mendukung perangkat keras dalam beroperasi, perancangan ini terdiri perancangan program arduino dan program LabView.

### 3.3.1 Perancangan Program Arduino

Untuk mengontrol *switch* 1 dan 2 kita membutuhkan sebuah kontroller yang dapat diimplementasikan pada perangkat arduino. Perangkat arduino sendiri membutuhkan sebuah petunjuk operasi yang dituliskan dalam bentuk program yang dapat di *download* pada arduino tersebut. Penjelasan dan alur dari program tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Mula-mula semua *switch* dalam keadaan terbuka.
2. ketika arduino menerima serial data dari PC maka arduino akan memulai eksekusi program.
3. Eksekusi pertama yaitu *switch* 1 tertutup selama 5 detik sehingga kapasitor surja akan terisi, setelah itu *switch* 1 akan terbuka.
4. Setelah 5 detik sejak penutupan *switch* 1, maka *switch* 2 akan menutup selama 5 detik sehingga muatan kapasitor akan terlepas ke belitan motor. Setelah itu *switch* 2 akan terbuka.
5. Setelah kedua *switch* terbuka, PC akan mengirimkan serial data lagi untuk memastikan kedua *switch* benar-benar terbuka.

### 3.3.2 Perancangan Program Labview

LabView merupakan salah satu produk *software* dari *National Instrument* yang dalam Tugas Akhir ini berfungsi untuk proses akuisi data baik merekam data atau memberikan perintah untuk menampilkan gambar. Di LabView ini terdapat fitur *DAQ Assistant* yang akan digunakan untuk merekam data. *DAQ Assistant* inilah yang akan terhubung pada perangkat NI 9223. Di dalam perancangan program ini juga ditambahkan fitur *play*, *stop*, dan *display* untuk mempermudah dalam pengujian tes surja. Hasil dari gelombang surja yang sudah terekam pada LabView akan diolah dengan *software* DIADEM, karena pada LabView gelombang surja hanya berbentuk gambar. Berikut ini *display* dari program LabView yang digunakan





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

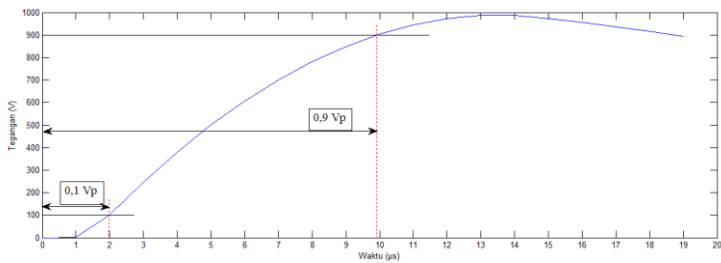
## BAB IV

### IDENTIFIKASI KERUSAKAN BELITAN MOTOR INDUKSI DENGAN ROTOR TERPASANG MENGUNAKAN METODE EAR

Pada bab ini akan dibahas hasil pengujian motor induksi 3 fasa dengan rotor terpasang dengan jenis pengujian kerusakan *turn-turn* yang bervariasi sesuai dengan selisihnya, dan juga dilakukan pengujian terhadap variasi sudut rotor dengan *step range* 45°. Pengujian ini dilakukan pada 2 fasa motor yaitu fasa U dan fasa V dengan cara membandingkan antara motor dalam kondisi normal dan dalam kondisi *fault*.

#### 4.1 Pengujian *Rise Time* Gelombang

Sebelum dilakukan pengujian tes surja secara keseluruhan, ada baiknya dilakukan pengujian *rise time* gelombang untuk menentukan besar tegangan uji yang cocok diterapkan pada pengujian surja secara keseluruhan. berikut ini dilakukan pengujian untuk mencari *rise time* gelombang dengan tegangan uji 1000V. dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.1



**Gambar 4. 1** *Rise time* gelombang surja

Dari gambar 4.1 dapat ditentukan besarnya *rise time* gelombang dengan perhitungan sebagai berikut

$$\begin{aligned} t_{0,9Vp} - t_{0,1Vp} &= 9,8\mu s - 2\mu s \\ &= 7,2\mu s \end{aligned}$$

karena besarnya *rise time* lebih besar dari 1,2µs, maka menurut standar IEEE 552 besar tegangan yang digunakan adalah 5 p.u.[9].

Yang mana jika dihitung, maka besar tegangan yang sebaiknya digunakan adalah

$$\begin{aligned} V &= [\sqrt{(2/3)}] \times V_L \times 5 \times 0.75 \\ &= [\sqrt{(2/3)}] \times 380 \times 5 \times 0.75 \\ &= 1163.5 \text{ V} \end{aligned}$$

Untuk keamanan isolasi motor dan juga peralatan pengujian surja, maka tegangan yang digunakan adalah sebesar 1030V.

## 4.2 Pengujian Tegangan Puncak

Pengujian tegangan puncak perlu dilakukan untuk melihat dan mengecek apakah keluaran dari tegangan surja yang terekam sudah sama dengan tegangan yang dibangkitkan oleh pembangkit tegangan. Tegangan uji yang dibangkitkan pada pembangkit tegangan adalah 1030V. Pengujian tegangan puncak ini dilakukan sebanyak 7 kali. Berikut adalah hasil yang didapatkan.

**Tabel 4. 1** Hasil pengujian tegangan puncak

Pengujian Ke-	Tegangan (V)
1	1003,53
2	997,84
3	998,55
4	1004,31
5	1056,56
6	1000,62
7	1002,5

Dari hasil diatas, tegangan yang dihasilkan menghasilkan besar yang bervariasi dengan nilai maksimal 1056V dan nilai minimal 997V. Tegangan diatas adalah tegangan yang terekam oleh NI 9223. Tegangan yang terekam ternyata tidak persis sama dengan tegangan yang dibangkitkan oleh pembangkit tegangan. Hal ini dikarenakan adanya tegangan yang hilang akibat adanya rugi-rugi pada belitan stator dan rotor. Sedangkan

## 4.3 Pengujian Tes Surja Fasa U

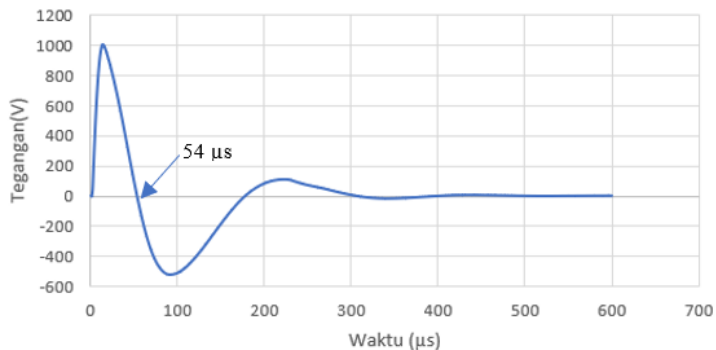
Pada pengujian fasa U dilakukan pengujian antara motor dengan kondisi normal dan *fault* dengan variasi *turn fault* 1-3, *turn fault* 1-5, *turn fault* 1-15, *turn fault* 1-40, *turn fault* 3-15, *turn fault* 3-40, *turn*

*fault* 5-15, *turn fault* 5-40 dan *turn fault* 15-40 dan setiap *turn* juga dilakukan pengujian terhadap variasi sudut rotor yaitu 0,45,90,135,180,225,270,315, dan 360 derajat. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali untuk keakuratan data.

#### 4.3.1 Pengujian Dalam Keadaan Normal

Pengujian dalam kondisi normal ini adalah untuk mengetahui gelombang referensi yang nanti akan dijadikan acuan dalam membandingkan dengan gelombang pengujian (gelombang saat *fault*). Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dari sudut 0 sampai 360 derajat dengan *step range* 45 derajat.

Hasil dari kelima percobaan tadi akan dirata-rata dan dijadikan sebagai gelombang referensi. Setiap sudut akan mempunyai gelombang referensi yang berbeda-beda. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 4. 2** Gelombang surja referensi

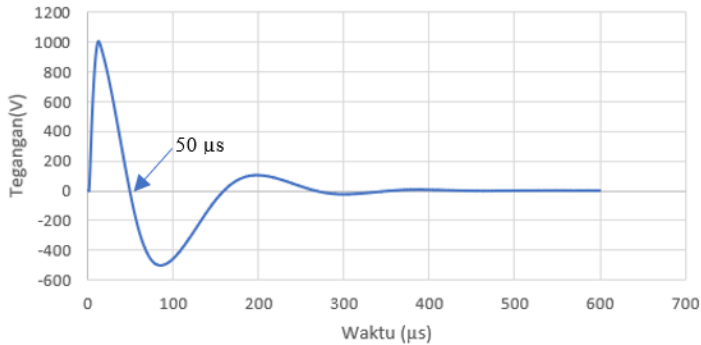
#### 4.3.2 Pengujian Dalam Keadaan *Turn fault*

Dalam pengujian ini, langkah-langkah yang digunakan sama seperti saat menguji dalam keadaan normal, perbedaannya akan ada dua *turn* yang akan dihubung singkat. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali, Setelah mendapat 5 gelombang maka kelima gelombang tersebut akan dibandingkan dengan gelombang referensi pada sudut yang sama, misalkan pengujian *turn fault* 1-3 pada sudut 45 derajat, maka akan dibandingkan dengan pengujian normal pada gelombang

45 derajat pula. Dari sana maka akan terdapat 5 buah nilai EAR yang bervariasi. Hal yang sama dilakukan untuk setiap sudut pengujian.

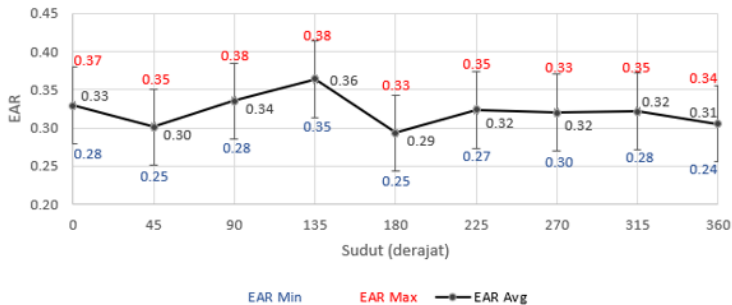
#### 4.3.2.1 Pengujian Pada Turn fault 1-3

Pada pengujian *turn* 1-3 (2 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 3** Gelombang surja *turn fault* 1-3

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 1-3 mempunyai nilai  $t_1$  (zero crossing pertama) sebesar 50 $\mu$ s

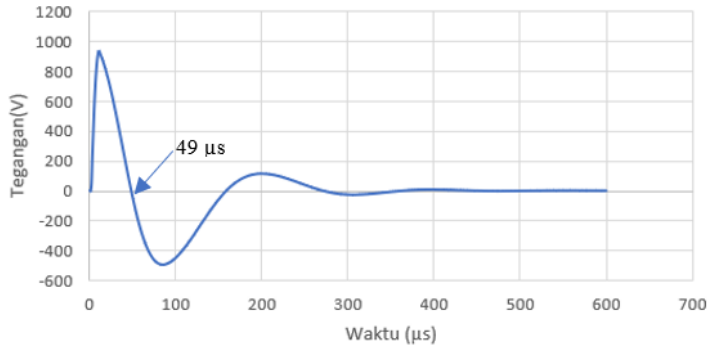


**Gambar 4. 4** Hasil EAR antara *Turn fault* 1-3 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,38 dan EAR minimal 0,24

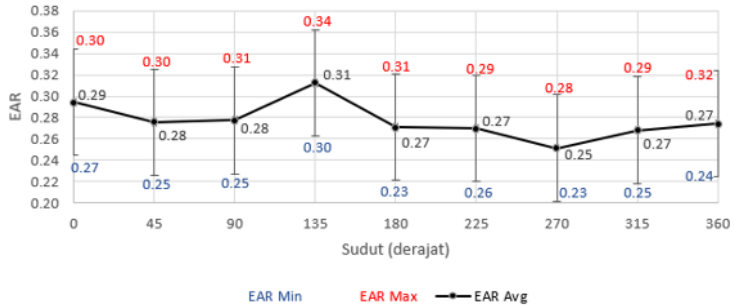
#### 4.3.2.2 Pengujian Pada Turn fault 1-5

Pada pengujian *turn* 1-5 (4 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 5** Gelombang surja *turn* fault 1-5

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn*-fault 1-5 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 49μs

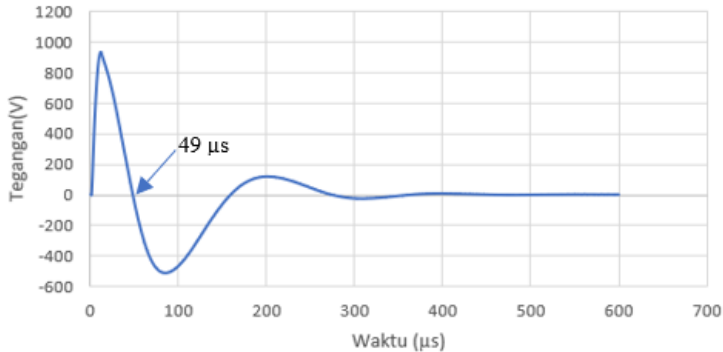


**Gambar 4. 6** Hasil EAR antara *Turn* fault 1-5 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,34 dan EAR minimal 0,23

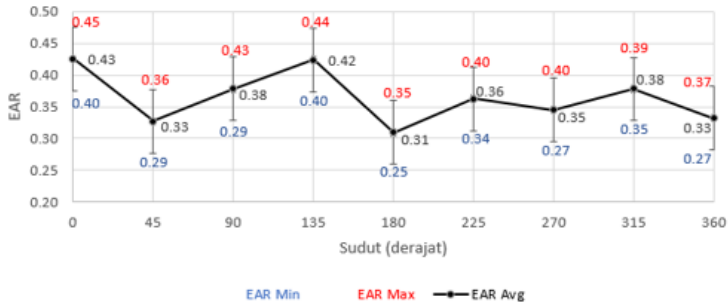
#### 4.3.2.3 Pengujian Pada Turn fault 1-15

Pada pengujian *turn* 1-15 (14 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 7** Gelombang surja *turn* fault 1-15

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 1-15 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 49 $\mu$ s



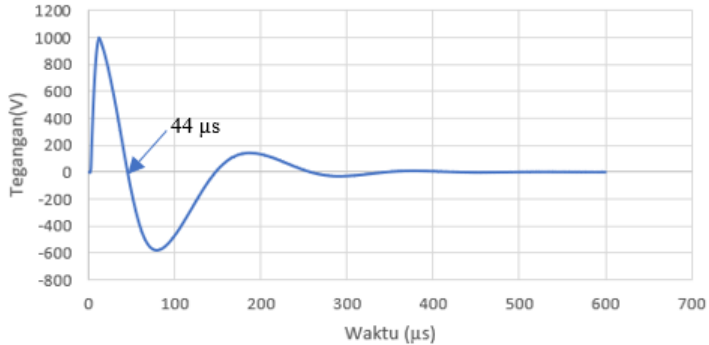
**Gambar 4. 8** Hasil EAR antara *Turn* fault 1-15 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,45 dan EAR minimal 0,25



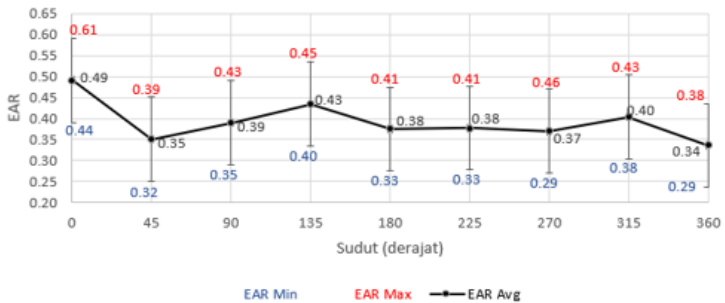
#### 4.3.2.4 Pengujian Pada Turn fault 1-40

Pada pengujian *turn* 1-40 (39 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 9** Gelombang surja *turn* fault 1-40

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn*-fault 1-40 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 44μs

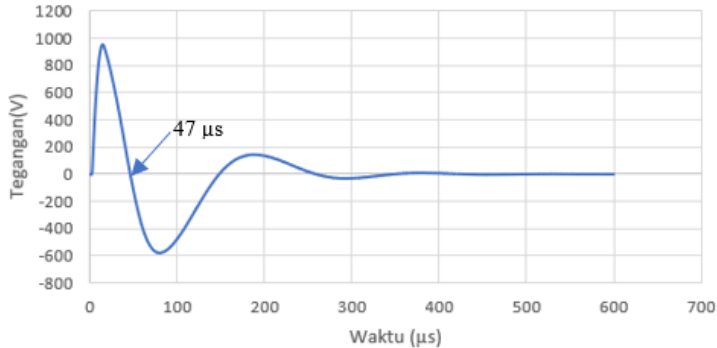


**Gambar 4. 10** Hasil EAR antara *Turn* fault 1-40 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,61 dan EAR minimal 0,29

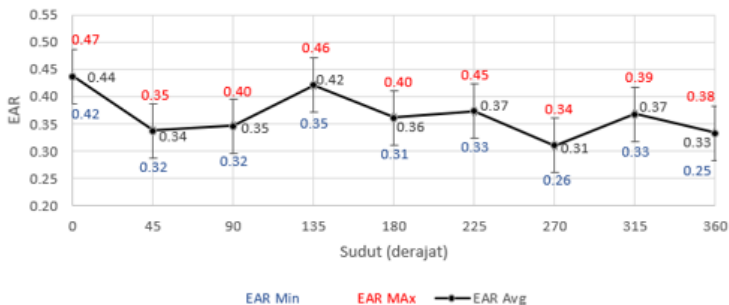
#### 4.3.2.5 Pengujian Pada Turn fault 3-15

Pada pengujian *turn* 3-15 (12 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 11** Gelombang surja *turn* fault 3-15

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn*-fault 3-15 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 47μs

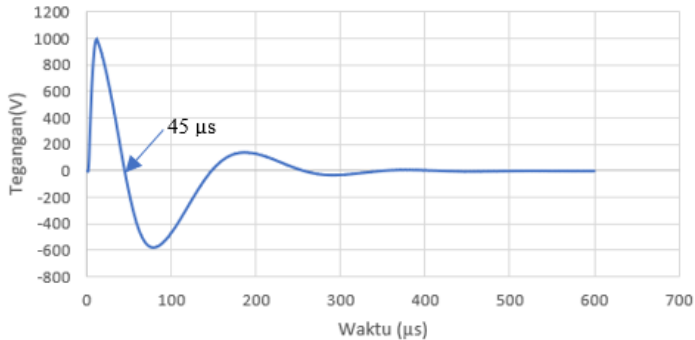


**Gambar 4. 12** Hasil EAR antara *Turn* fault 3-15 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,47 dan EAR minimal 0,25

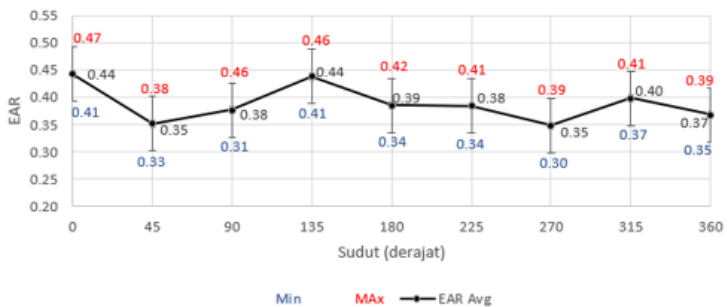
#### 4.3.2.6 Pengujian Pada Turn fault 3-40

Pada pengujian *turn* 3-40 (37 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4.13** Gelombang surja *turn* fault 3-40

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn*-fault 3-40 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 45 $\mu s$

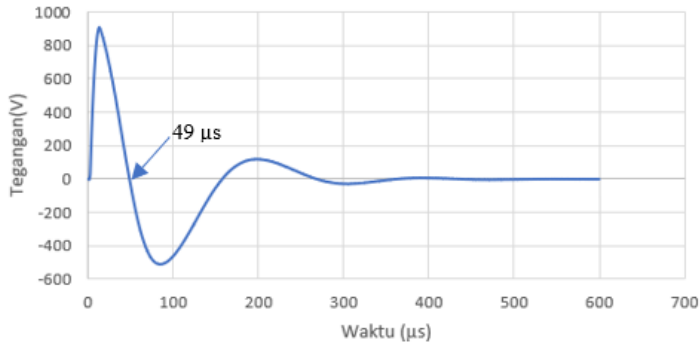


**Gambar 4.14** Hasil EAR antara *Turn* fault 3-40 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,47 dan EAR minimal 0,30

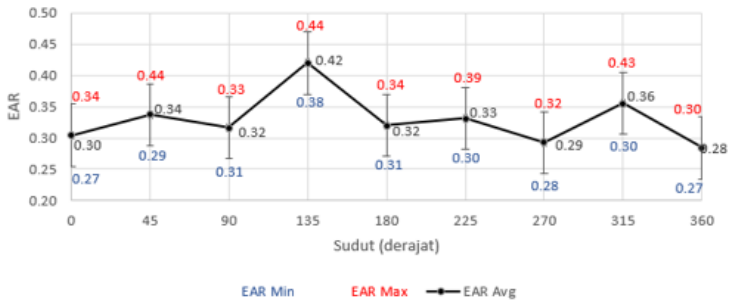
#### 4.3.2.7 Pengujian Pada Turn fault 5-15

Pada pengujian *turn* 5-15 (10 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 15** Gelombang surja *turn* fault 5-15

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn*-fault 5-15 mempunyai nilai t1 (*zero crossing* pertama) sebesar 49μs

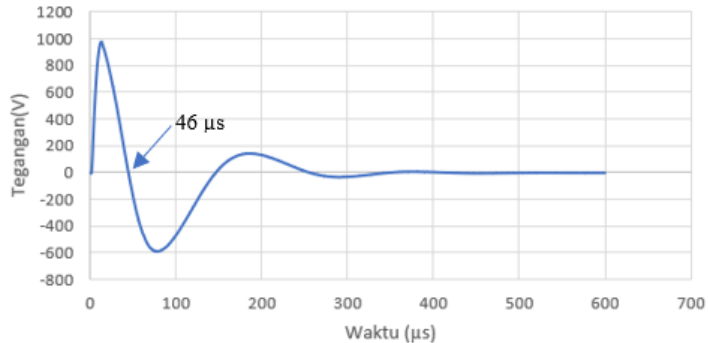


**Gambar 4. 16** Hasil EAR antara *Turn* fault 5-15 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,44 dan EAR minimal 0,27

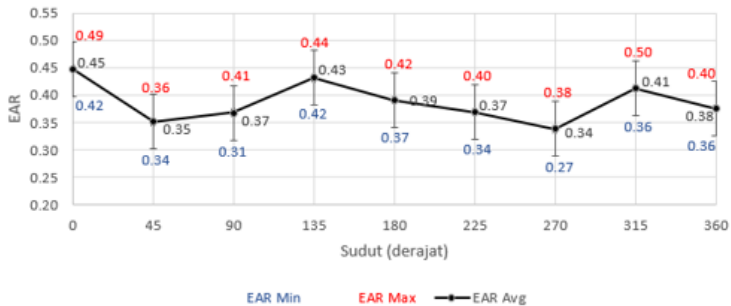
#### 4.3.2.8 Pengujian Pada Turn fault 5-40

Pada pengujian *turn* 5-40 (35 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 17** Gelombang surja *turn* fault 5-40

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 5-40 mempunyai nilai  $t_1$  (zero crossing pertama) sebesar 46μs

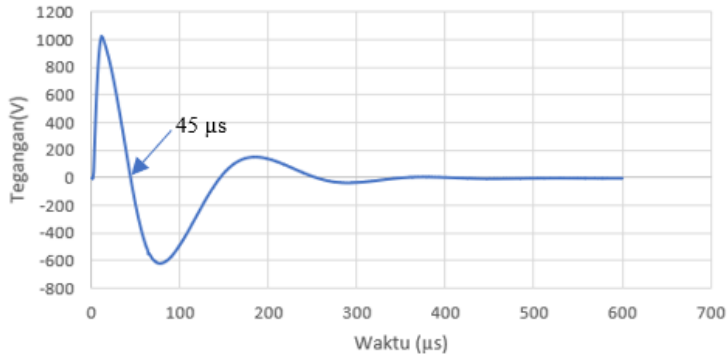


**Gambar 4. 18** Hasil EAR antara *Turn* fault 5-40 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,50 dan EAR minimal 0,27

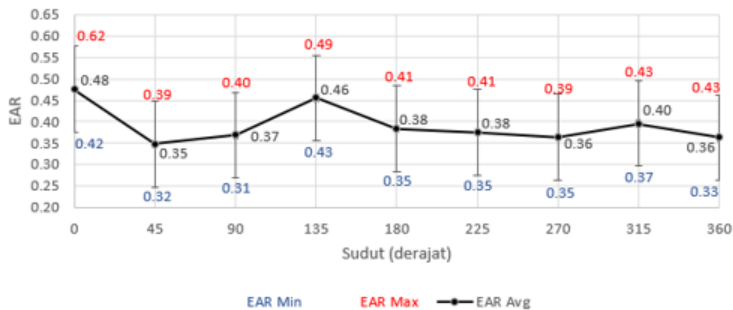
#### 4.3.2.9 Pengujian Pada Turn fault 15-40

Pada pengujian *turn* 15-40 (25 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut :



**Gambar 4. 19** Gelombang surja *turn* fault 15-40

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 15-40 mempunyai nilai  $t_1$  (zero crossing pertama) sebesar 45 $\mu$ s

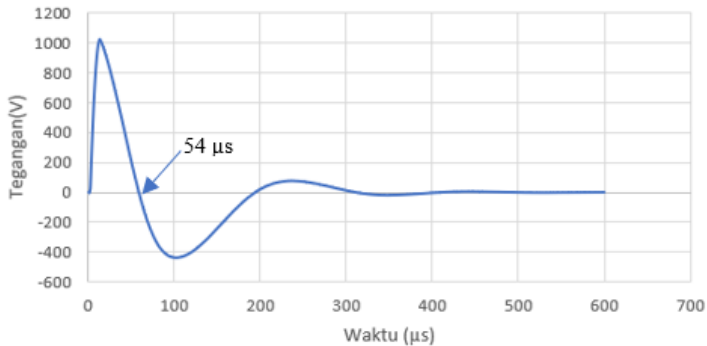


**Gambar 4. 20** Hasil EAR antara *Turn* fault 15-40 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,62 dan EAR minimal 0,31

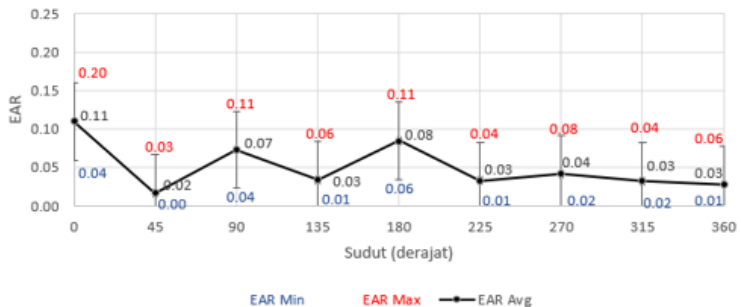
#### 4.3.2.10 Pengujian Antara Normal Dengan Referensi

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan Gelombang surja saat motor normal dengan gelombang referensi. Didapatkan hasil gelombang dan nilai EAR sperti berikut:



**Gambar 4. 21** Gelombang surja kondisi normal

Dari gambar diatas gelombang surja pada kondisi normal mempunyai nilai  $t_1$  (zero crossing pertama) sebesar 54μs



**Gambar 4. 22** Hasil EAR antara Normal dan Referensi

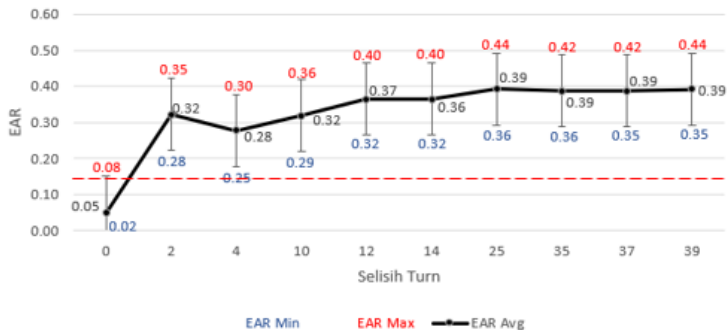
Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,20 dan EAR minimal 0,00

### 4.3.3 Analisa EAR Pada Motor Induksi Fasa U

Berdasarkan pengujian-pengujian diatas maka dapat dibuat tabel dan grafik dari nilai EAR Untuk setiap *turn-fault*nya yang akan disajikan pada tabel dan grafik dibawah

**Tabel 4. 2** Nilai EAR tiap *Turn fault* fasa U

Sudut									
<i>Turn</i>	0	45	90	135	180	225	270	315	360
0	0.11	0.02	0.07	0.03	0.08	0.03	0.04	0.03	0.03
1-3	0.33	0.30	0.34	0.36	0.29	0.32	0.032	0.32	0.31
1-5	0.29	0.28	0.28	0.31	0.27	0.27	0.25	0.27	0.27
5-15	0.30	0.34	0.32	0.42	0.23	0.33	0.29	0.36	0.28
3-15	0.44	0.34	0.35	0.42	0.36	0.37	0.31	0.37	0.33
1-15	0.43	0.33	0.38	0.42	0.31	0.36	0.35	0.38	0.33
15-40	0.48	0.35	0.37	0.46	0.38	0.38	0.36	0.40	0.36
5-40	0.45	0.35	0.37	0.43	0.39	0.37	0.34	0.41	0.38
3-40	0.44	0.35	0.38	0.44	0.39	0.38	0.35	0.40	0.37
1-40	0.49	0.35	0.39	0.43	0.38	0.38	0.37	0.40	0.34



**Gambar 4. 23** Grafik nilai EAR tiap selisih *turn* fasa U



Berdasarkan dari tabel dan grafik diatas, dapat dilihat bahwa nilai EAR pada setiap posisi sudut rotor akan berbeda, hal ini dikarenakan nilai induktansi yang berubah-ubah pada saat posisi rotor berubah. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3

**Tabel 4. 3** Nilai induktansi belitan fasa U tiap 45 derajat

Sudut (derajat)	Induktansi (mH)
0	85.55
45	80.08
90	85.23
135	80.16
180	84.96
225	79.78
270	85.46
315	80.65
360	85.55

karena nilai L berubah, maka frekuensi pun akan berubah dan menghasilkan gelombang yang berbeda yang nantinya akan berpengaruh pada nilai EAR.

Begitu juga dengan perubahan selisih *turn-fault*, dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar selisih *turn fault*, maka nilai EAR akan semakin besar. Hal ini karena saat mengalami *fault* maka nilai induktansi akan berkurang, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4

**Tabel 4. 4** Nilai induktansi tiap selisih *turn fault* fasa U

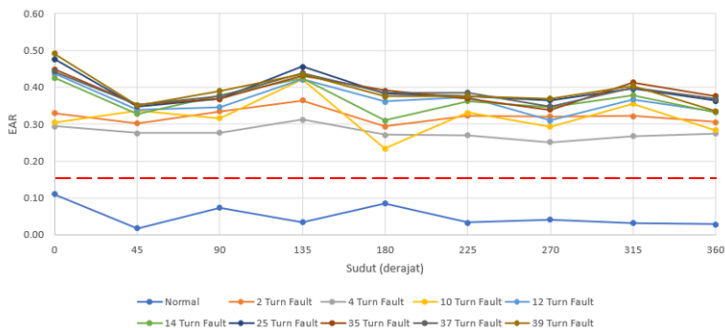
<i>Turn fault</i>	Selisih <i>Turn fault</i>	Induktansi (mH)
Normal	0	85.55
1-3	2	83.93
1-5	4	80.55
5-15	10	71.77
3-15	12	70.75
1-15	14	69.93
15-40	25	67.39
5-40	35	67.13
3-40	37	67.12
1-40	39	67.13

Dari hasil pengujian kita dapat menentukan kondisi motor tersebut dalam kondisi layak atau tidak dengan menetapkan batas atau *threshold* dari nilai EAR. Dengan mengacu pada standar baker, untuk motor dengan rotor terpasang dan metode pengujian adalah *Test-ref* EAR maka batas EAR nya adalah 10-25%[7].

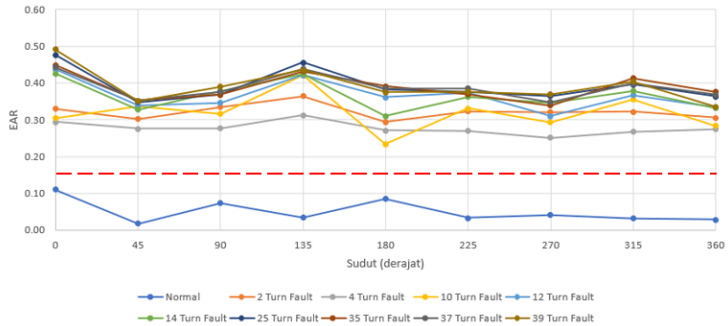
Untuk batas nilai EAR yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah 15%. berikut ini akan ditunjukkan hasil analisis dari nilai EAR pada kondisi normal dan *turn fault*.

**Tabel 4. 5** Hasil analisa EAR pada tes surja belitan fasa U

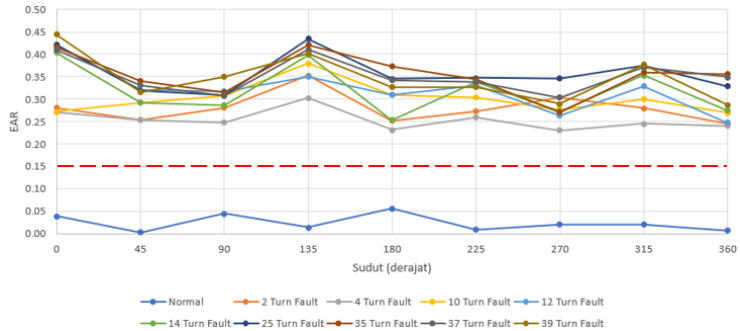
EAR	Min	Max	Average	Status
Normal	0.02	0.08	0.05	Pass
<i>Threshold</i>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	
1-3	0.28	0.35	0.32	<i>Fault</i>
1-5	0.25	0.30	0.28	<i>Fault</i>
5-15	0.29	0.36	0.32	<i>Fault</i>
3-15	0.32	0.40	0.37	<i>Fault</i>
1-15	0.32	0.40	0.36	<i>Fault</i>
15-40	0.36	0.44	0.39	<i>Fault</i>
5-40	0.36	0.42	0.39	<i>Fault</i>
3-40	0.35	0.42	0.39	<i>Fault</i>
1-40	0.35	0.44	0.39	<i>Fault</i>



**Gambar 4. 24** Hasil analisa EAR tiap selisih *turn* fasa U (rata-rata)



**Gambar 4. 25** Hasil analisa EAR tiap selisih *turn* fasa U (maksimal)



**Gambar 4. 26** Hasil analisa EAR tiap selisih *turn* fasa U (minimal)

Jika dilihat dari data diatas, nilai EAR untuk kondisi normal berada dibawah nilai EAR yang ditetapkan yaitu 15%. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa motor berada pada kondisi yang baik. Sedangkan jika motor dalam kondisi normal memiliki nilai EAR yang melebihi 15%, dapat dikatakan bahwa belitan motor tersebut dalam keadaan rusak.

#### 4.4 Pengujian Tes Surja Fasa V

Pada pengujian fasa V dilakukan pengujian yang sama dengan saat melakukan pengujian pada fasa U. Pengujian dilakukan antara motor dengan kondisi normal dan *fault* dengan variasi *turn fault* 1-3, *turn fault* 1-5, *turn fault* 1-15, *turn fault* 1-40, *turn fault* 3-15, *turn fault* 3-40, *turn fault* 5-15, *turn fault* 5-40 dan *turn fault* 15-40 dan

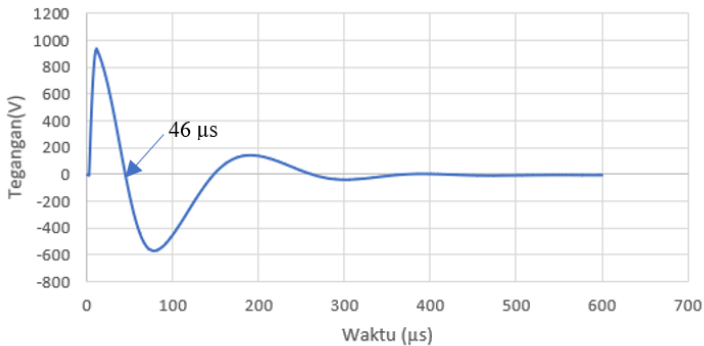
setiap *turn* juga dilakukan pengujian terhadap variasi sudut rotor yaitu 0,45,90,135,180,225,270,315, dan 360 derajat. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali. Pengujian dalam keadaan motor normal dan keadaan *fault*-nya pun juga sama, perbedaannya hanya pada fasanya saja.

#### 4.4.1 Pengujian Dalam Keadaan *Turn fault*

Pengujian dalam keadaan *turn fault* untuk fasa V menggunakan parameter dan langkah yang sama dengan fasa U dan juga dilakukan pengujian sebanyak 5 kali untuk keakuratan data.

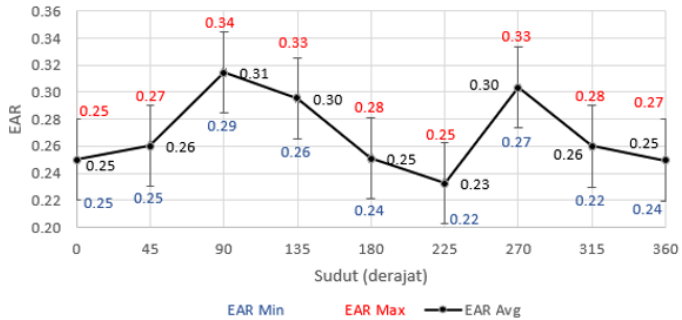
##### 4.4.1.1 Pengujian Pada *Turn fault* 1-3

Pada pengujian *turn* 1-3 (2 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 27** Gelombang surja *turn fault* 1-3

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 1-3 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 46  $\mu\text{s}$

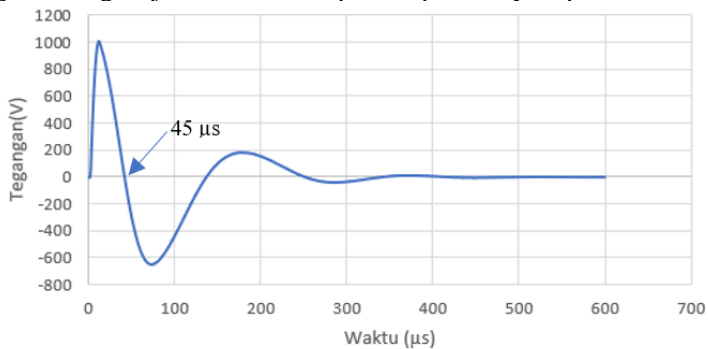


**Gambar 4. 28** Hasil EAR antara *Turn fault* 1-3 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,34 dan EAR minimal 0,22

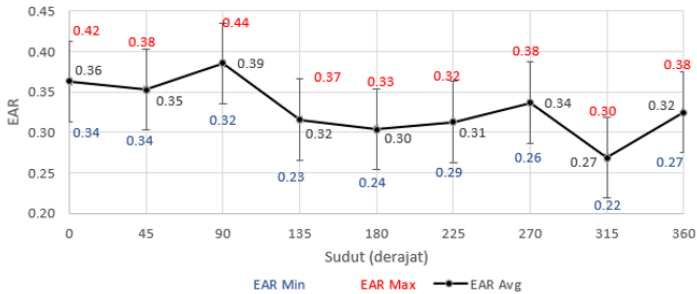
#### 4.4.1.2 Pengujian Pada *Turn fault* 1-5

Pada pengujian *turn* 1-5 (4 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 29** Gelombang surja *turn fault* 1-5

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 1-5 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 45  $\mu s$

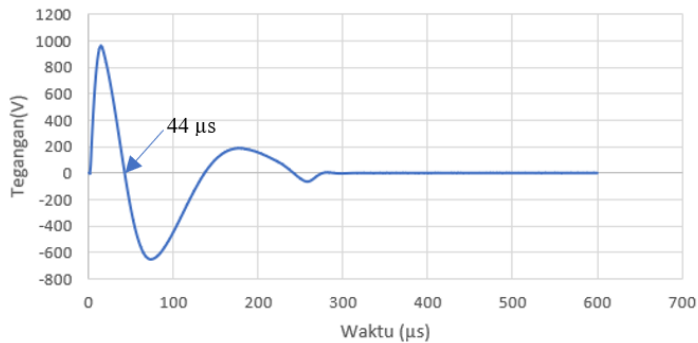


**Gambar 4. 30** Hasil EAR antara *Turn fault* 1-5 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,44 dan EAR minimal 0,22

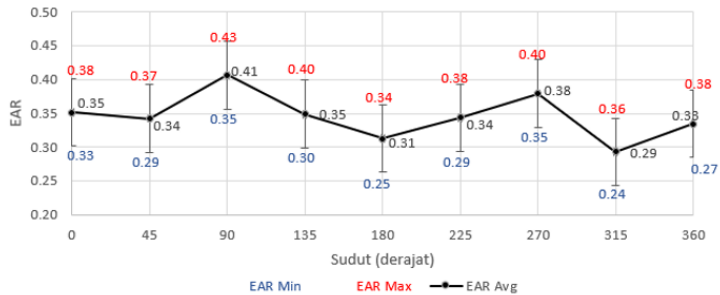
#### 4.4.1.3 Pengujian Pada *Turn fault* 1-15

Pada pengujian *turn* 1-15 (14 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 31** Gelombang surja *turn fault* 1-15

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 1-15 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 44  $\mu s$

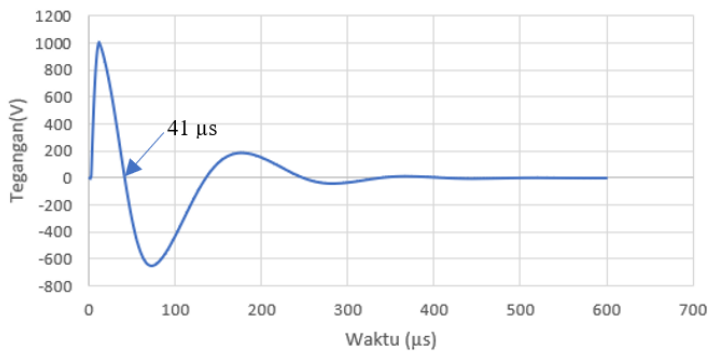


**Gambar 4. 32** Hasil EAR antara *Turn fault* 1-15 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,43 dan EAR minimal 0,24

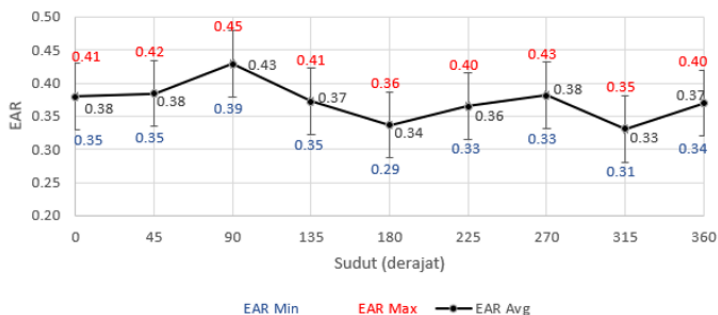
#### 4.4.1.4 Pengujian Pada *Turn fault* 1-40

Pada pengujian *turn* 1-40 (39 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 33** Gelombang surja *turn fault* 1-40

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 1-40 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 41  $\mu s$

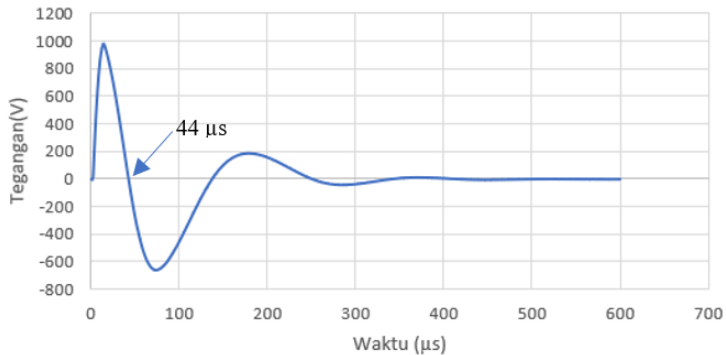


**Gambar 4. 34** Hasil EAR antara *Turn fault* 1-40 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,45 dan EAR minimal 0,29

#### 4.4.1.5 Pengujian Pada *Turn fault* 3-15

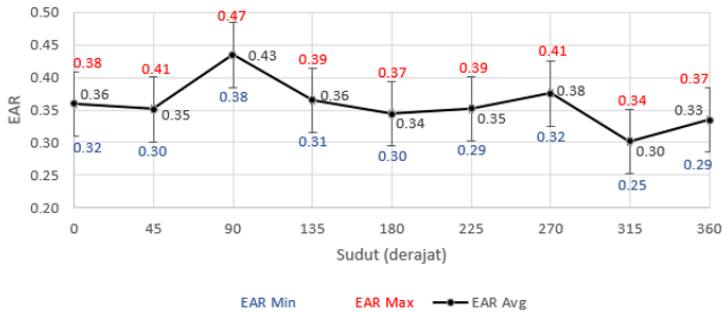
Pada pengujian *turn* 3-15 (12 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 35** Gelombang surja *turn fault* 3-15

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 3-15 mempunyai nilai  $t_1$  (zero crossing pertama) sebesar 44  $\mu s$



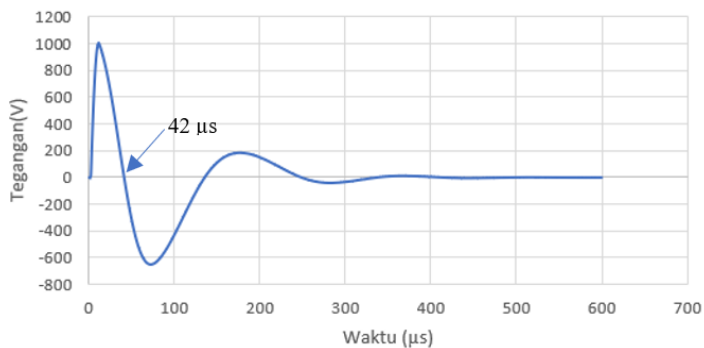


**Gambar 4. 36** Hasil EAR antara *Turn fault* 3-15 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,47 dan EAR minimal 0,25

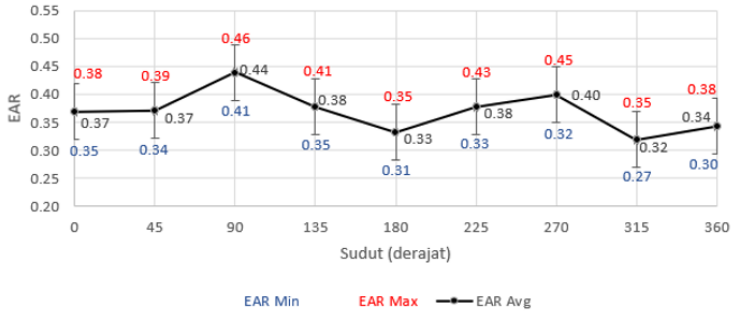
#### 4.4.1.6 Pengujian Pada *Turn fault* 3-40

Pada pengujian *turn* 3-40 (37 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 37** Gelombang surja *turn fault* 3-40

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 3-40 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 42  $\mu s$

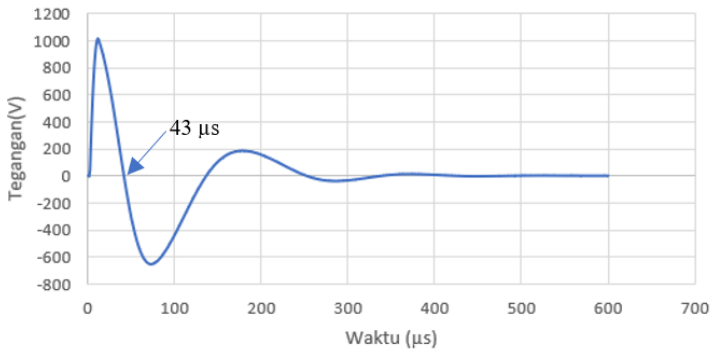


**Gambar 4. 38** Hasil EAR antara *Turn fault* 3-40 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,46 dan EAR minimal 0,27

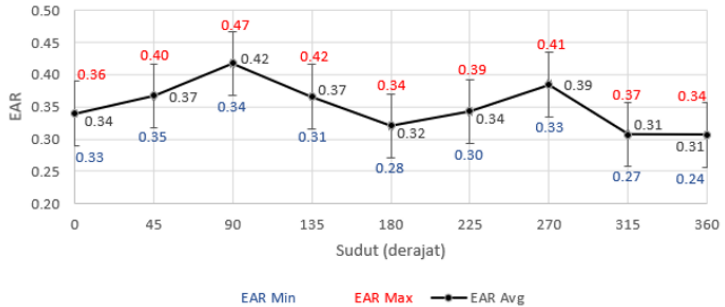
#### 4.4.1.7 Pengujian Pada *Turn fault* 5-15

Pada pengujian *turn* 5-15 (10 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 39** Gelombang surja *turn fault* 5-15

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 5-15 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 43  $\mu s$

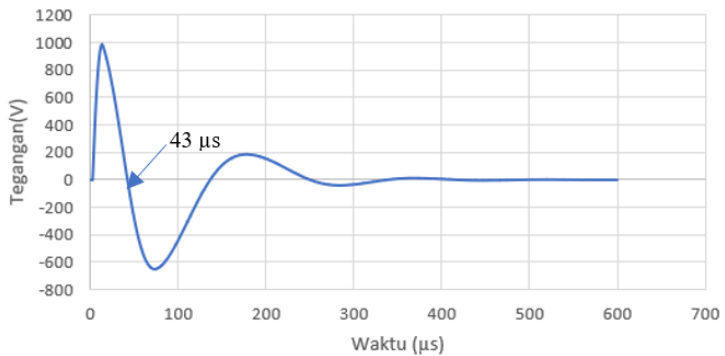


**Gambar 4. 40** Hasil EAR antara *Turn fault* 5-15 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,47 dan EAR minimal 0,24

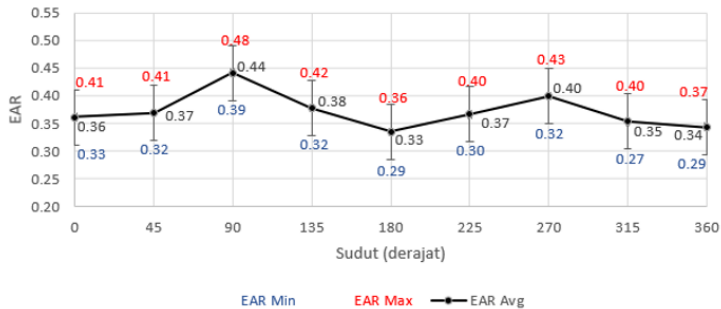
#### 4.4.1.8 Pengujian Pada *Turn fault* 5-40

Pada pengujian *turn* 5-40 (35 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 41** Gelombang surja *turn fault* 5-40

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 5-40 mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 43  $\mu s$

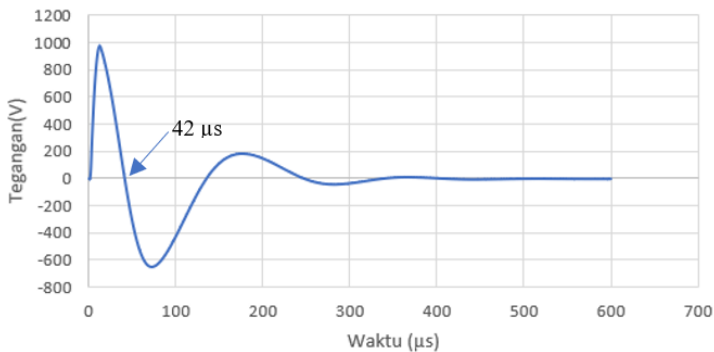


**Gambar 4. 42** Hasil EAR antara *Turn fault* 5-40 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,48 dan EAR minimal 0,27

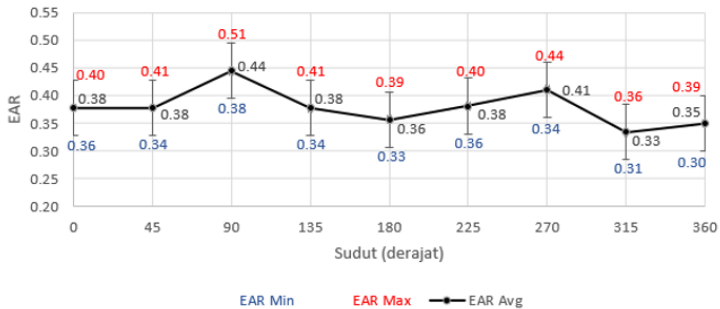
#### 4.4.1.9 Pengujian Pada *Turn fault* 15-40

Pada pengujian *turn* 15-40 (25 selisih *turn*) didapatkan hasil gelombang surja dan nilai EAR pada tiap sudutnya seperti berikut:



**Gambar 4. 43** Gelombang surja *turn fault* 15-40

Dari gambar diatas gelombang surja pada *turn-fault* 15-40 mempunyai nilai  $t_1$  (zero crossing pertama) sebesar 42  $\mu s$

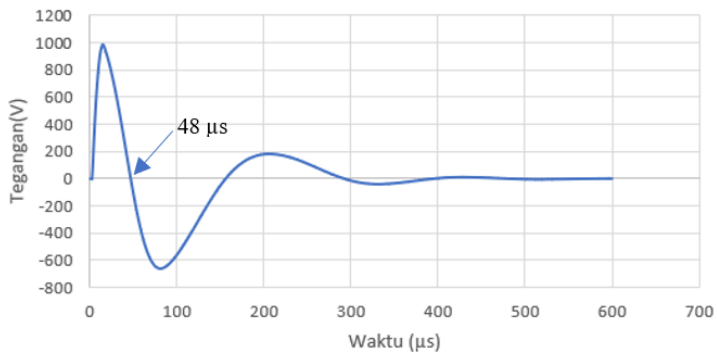


**Gambar 4. 44** Hasil EAR antara *Turn fault* 15-40 dan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,51 dan EAR minimal 0,30

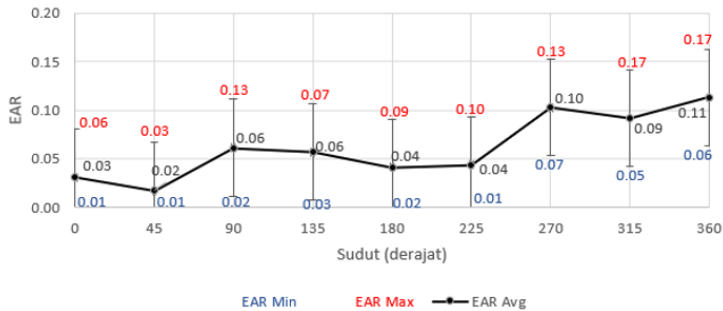
#### 4.4.1.10 Pengujian Antara Normal Dengan Referensi

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan Gelombang surja saat motor normal dengan gelombang referensi. Didapatkan hasil EAR seperti berikut:



**Gambar 4. 45** Gelombang surja kondisi normal

Dari gambar diatas gelombang surja pada kondisi normal mempunyai nilai  $t_1$  (*zero crossing* pertama) sebesar 48  $\mu s$



**Gambar 4. 46** Hasil EAR antara Normal dengan Referensi

Sedangkan untuk hasil EAR-nya memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan sudut posisi rotor dengan nilai EAR maksimal 0,17 dan EAR minimal 0,01

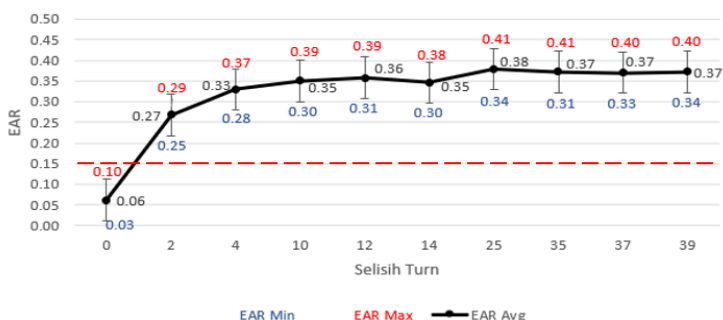
#### 4.4.2 Analisa EAR Pada Motor Induksi Fasa V

Berdasarkan hasil dari pengujian-pengujian diatas maka dapat dibuat tabel dan grafik dari nilai EAR Untuk setiap *turn-fault*nya yang akan disajikan pada tabel dan grafik dibawah

**Tabel 4. 6** Nilai EAR tiap *turn fault* fasa V

Sudut									
	0	45	90	135	180	225	270	315	360
Turn	0	45	90	135	180	225	270	315	360
0	0.03	0.02	0.06	0.06	0.04	0.04	0.10	0.09	0.11
1-3	0.25	0.26	0.31	0.30	0.25	0.23	0.30	0.26	0.25
1-5	0.36	0.35	0.39	0.32	0.30	0.31	0.34	0.27	0.32
5-15	0.34	0.37	0.42	0.37	0.32	0.34	0.39	0.31	0.31
3-15	0.36	0.35	0.43	0.36	0.34	0.35	0.38	0.30	0.33
1-15	0.35	0.34	0.41	0.35	0.31	0.34	0.38	0.29	0.33
15-40	0.38	0.38	0.44	0.38	0.36	0.38	0.41	0.33	0.35
5-40	0.36	0.37	0.44	0.38	0.33	0.37	0.40	0.35	0.34

3-40	0.37	0.37	0.44	0.38	0.33	0.38	0.40	0.32	0.34
1-40	0.38	0.38	0.43	0.37	0.34	0.36	0.38	0.33	0.37



**Gambar 4. 47** Grafik nilai EAR tiap selisih *turn* fasa V

Berdasarkan dari tabel dan grafik diatas, hasil yang didapatkan agak berbeda dengan fasa U, terutama pada nilai EAR tiap sudutnya namun secara umum kesimpulannya masih sama. Dapat dilihat bahwa nilai EAR pada setiap sudut rotor akan berbeda, hal ini dikarenakan nilai induktansi yang berubah-ubah pada saat posisi rotor berubah, seperti yang terlihat pada tabel dibawah.

**Tabel 4. 7** Nilai induktansi tiap 45 derajat fasa V

Sudut (derajat)	Induktansi (mH)
0	81,82
45	77,9
90	81,63
135	77,54
180	81,7
225	77,53
270	81,9
315	77,84
360	82,07

Begitu juga dengan perubahan selisih *turn-fault*, dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar selisih *turn fault*, maka nilai EAR akan semakin besar. Hal ini dikarenakan saat mengalami *short circuit*

maka nilai induktansi otomatis akan berkurang, seperti yang ditunjukkan pada tabel.

**Tabel 4. 8** Nilai induktansi tiap selisih *turn fault* fasa V

<i>Turn fault</i>	Selisih <i>Turn fault</i>	Induktansi (mH)
Normal	0	81,82
1-3	2	80,6
1-5	4	77,8
5-15	10	70,2
3-15	12	68,11
1-15	14	67,4
15-40	25	64,35
5-40	35	64,13
3-40	37	64,8
1-40	39	64,19

Nilai Induktansi yang mengecil akan menyebabkan nilai EAR menjadi tinggi. Hal ini karena frekuensi surja akan berkurang sehingga gelombang akan semakin tidak teredam dan akan meningkatnya nilai amplitudo[10]. Sehingga perbedaan gelombang antara *fault* dan normal akan semakin besar dan membuat nilai EAR juga semakin besar.

Berikut akan ditampilkan hasil EAR per selisih *turn* beserta batas untuk menentukan kerusakan pada motor. Batas EAR yang digunakan untuk menentukan apakah belitan tersebut rusak atau tidak pada Tugas Akhir ini adalah 15%

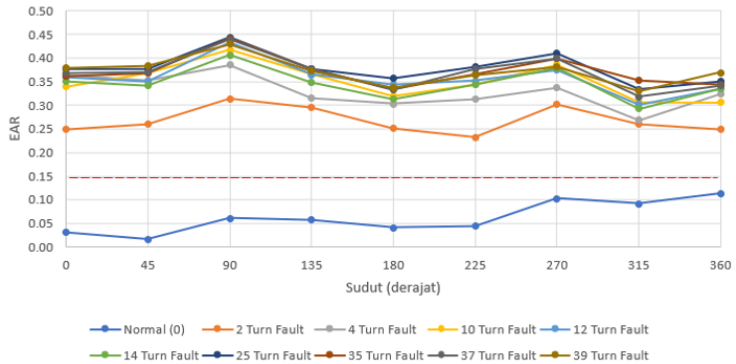
**Tabel 4. 9** Hasil analisa EAR pada tes surja belitan fasa V

EAR	Min	Max	<i>Average</i>	Status
Normal	0.03	0.10	0.06	Pass
<i>Threshold</i>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	
1-3	0.25	0.29	0.27	<i>Fault</i>
1-5	0.28	0.37	0.33	<i>Fault</i>
5-15	0.30	0.39	0.35	<i>Fault</i>
3-15	0.31	0.39	0.36	<i>Fault</i>
1-15	0.30	0.38	0.35	<i>Fault</i>
15-40	0.34	0.41	0.38	<i>Fault</i>

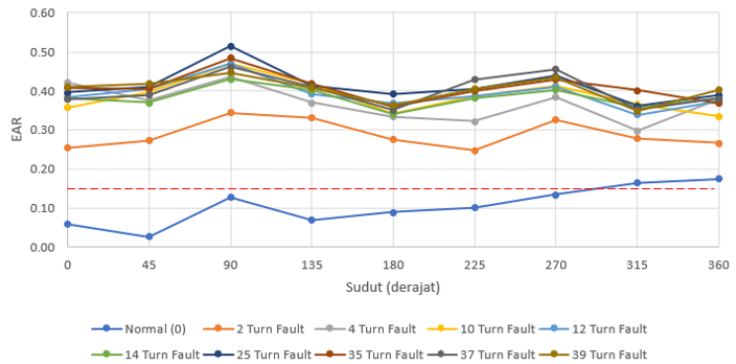


**Tabel 4.9** Hasil analisa EAR pada tes surja belitan fasa V

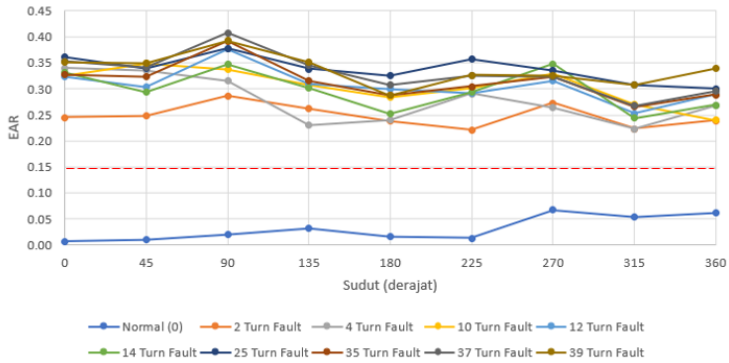
EAR	Min	Max	Average	Status
5-40	0.31	0.41	0.37	<i>Fault</i>
3-40	0.33	0.40	0.37	<i>Fault</i>
1-40	0.34	0.40	0.37	<i>Fault</i>



**Gambar 4. 48** Hasil analisa EAR tiap selisih *turn* fasa V (rata-rata)



**Gambar 4. 49** Hasil analisa EAR tiap selisih *turn* fasa V (maksimal)



**Gambar 4. 50** Hasil analisa EAR tiap selisih *turn* fasa V (minimal)

Jika dilihat dari data diatas, hasil pengujian motor dengan kondisi normal memenuhi kriteria dari batas EAR yang ditentukan untuk kategori rotor terpasang dan menggunakan *Test-ref EAR* yaitu 15%. Maka dapat disimpulkan belitan motor fasa V berada dalam kondisi yang normal, sama seperti kondisi belitana fasa U.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan seperti berikut

1. Pengaruh perubahan posisi rotor akan mempengaruhi hasil dari gelombang surja, hal ini dikarenakan adanya perubahan nilai induktansi setiap perubahan posisi yang akan mempengaruhi frekuensi dari gelombang surja. Sehingga nilai EAR pada setiap posisi rotor akan berbeda-beda
2. Nilai EAR pada setiap *turn-fault* juga akan berbeda karena perubahan induktansinya, semakin besar *turn-fault* nya maka nilai induktansi akan mengecil dan mengakibatkan nilai EAR akan membesar.
3. Pada pengujian ini dilakukan metode EAR dengan menggunakan Test-ref EAR. Nilai EAR untuk motor normal pada fasa U berkisar 2%-8%. Maka dari itu sesuai *threshold* yang digunakan yaitu 15% maka belitan fasa U dalam keadaan normal. Begitu juga untuk fasa V, nilai EAR untuk motor normal adalah 3%-10%. Maka belitan fasa V juga dalam kondisi normal.

#### **5.2 Saran**

Terdapat beberapa saran dari penulis pada penelitian ini, dan diharapkan akan berguna pada penelitian berikutnya, berikut saran dari penulis:

1. Penambahan perangkat pengaturan tegangan untuk menggantikan *Autotransformator* agar tegangan yang dihasilkan lebih tepat dan dapat mempersingkat waktu.
2. Dilakukan pengujian pada waktu yang berdekatan atau tidak dijeda dalam waktu yang lama untuk menghindari adanya kerusakan pada peralatan, dan data punya kesamaan parameter yang sehingga pengukuran akan lebih seragam.
3. Dilakukan pengujian terhadap beberapa macam motor agar hasil yang didapatkan dapat dibandingkan dan data lebih valid.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Anshori, Desain Peralatan Diagnostik Motor Induksi Berbasis Tegangan Surja Untuk Mengetahui Pengaruh Rotor Terhadap Hasil Pengujian Tes Surja Menggunakan Metode Error Area Ratio(EAR). Surabaya, Indonesia: Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] S. J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals 4th Edition. New York: MCGraw-Hill Companies, 2005.
- [3] M. A. Awadallah and M. . Morcos, "Identification of Stator-Winding Insulation Failure in PM Brushless DC Motors," IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) , Oct. 2003.
- [4] "Typical Failures in Three-Phase Stator Windings," in Typical Failures in Three-Phase Stator Windings, EASA, 1985.
- [5] S. Grubic, J. Restrepo, and J. M. Aller, "A New Concept for Online Surge Testing for the Detection of Winding Insulation Deterioration in Low-Voltage Induction Machines," IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers), vol. 47, Oct. 2011.
- [6] I. M. Yulistya Negara, Teknik Tegangan Tinggi. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [7] BAKER, "AWA Surge test pass/fail criteria," SKF Inc.
- [8] J. Wilson, "CURRENT STATE OF SURGE TESTING INDUCTION MACHINES," Bak. Isntrument Co., Jun. 2003.
- [9] Electric Machinery Committee of the IEEE Power Engineering Society, "IEEE Guide for Testing *Turn-to-Turn* Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines." IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) Inc, Agustus-2004.
- [10] P. Sakti, "Tes Surja untuk Mendeteksi Kerusakan Belitan pada Motor Induksi Tiga Fasa Tegangan Rendah," Inst. Teknol. Sepuluh Nop., 2014.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. List Program Arduino

```
int pin_out = 13;
int pin_out2 = 12;
//12 ke relay, 13 ke IGBT`
void setup()
{
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin_out,OUTPUT);
  pinMode(pin_out2,OUTPUT);
  Serial.println("pilih saklar");
  Serial.println("1. saklar 1 ");
  Serial.println("2. saklar 2 ");
}
void lcd()
{Serial.println("pilih saklar");
Serial.println("1. saklar 1 ");
Serial.println("2. saklar 2 ");}
void loop()
{
  unsigned int data;
  int coba;
  if(Serial.available(>0)
  {
    data=Serial.read();
    if(data==52)//4 Gelombang bagus
    {
      Serial.println("saklar 2 on.....");
      digitalWrite(pin_out2,HIGH);
      delay(5000);
      digitalWrite(pin_out2,LOW);
      delay(1);
      digitalWrite(pin_out,HIGH);
```

```
Serial.println("saklar 2 off. ....");  
delay(3000);  
digitalWrite(pin_out,LOW);  
Serial.println("saklar 1 off. ....");  
  lcd();  
  }  
}  
}
```



## RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama Mochamad Faisal Firdaus, lahir di Jombang, 17 Oktober 1996. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri Kenari 08 Jakarta, SMP Negeri 216 Jakarta, SMA Negeri 68 Jakarta., kemudian melanjutkan pendidikan tinggi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Elektro tahun 2014 dengan bidang peminatan Teknik Sistem Tenaga. Penulis pernah aktif dalam bidang organisasi dengan menjadi Anggota HIMATEKTRO

selama 2 periode pada tahun ke 2 dan ke 3 perkuliahan. Selain itu penulis juga pernah mengikuti lomba paper tingkat Nasional PESTAGAMA yang diselenggarakan di Yogyakarta dan mendapat prestasi *Best Paper* Kategori Energi. Penulis dapat dihubungi melalui email .: faisalfirdaus454@gmail.com